

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta strojní**  
**Institut dopravy**

**Využití metod multikriteriálního hodnocení při výběru  
silničních vozidel určených pro podzemní práce**

**Application of Multi-criteria Evaluation Method for the  
Selection of Road vehicles Used for Underground Work**

**Student:**

Bc. Pavel Mojžíš

**Vedoucí diplomové práce:**

doc. Ing. Ivana Olivková, Ph.D

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Mojžíš**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace: 20 Silniční doprava

Téma: Využití metod multikriteriálního hodnocení při výběru silničních vozidel určených pro podzemní práce  
Application of Multi-Criteria Evaluation Method for Selection of Road vehicles Used for Underground Work

Zásady pro vypracování:

Osnova:

1. Úvod
2. Vymezení kritérií výběru silničního vozidla
3. Obecný popis metod
4. Výpočtová část
5. Vyhodnocení a výběr silničního vozidla
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

FOTR, J., DĚDINA, J., HRŮZOVÁ, H. Manažerské rozhodování. Praha: Ekopress, 2000. 231 s. ISBN 80-86119-20-3.

FOTR J.- PÍŠEK M. Exaktní metody ekonomického rozhodování. Praha: ACADEMIA Praha, 1986.

Surovec, P. Provoz a ekonomika silniční dopravy II., Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004, ISBN 80-248-0710-6

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ivana Olivková, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



*Aleš Slíva*

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry

*Ivo Hlavatý*

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

#### Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její plné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Pavel Mojžíš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Za Sokolovnou 262

675 73 Kralice nad Oslavou

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

MOJŽÍŠ, P. *Využití metod multikriteriálního hodnocení při výběru silničních vozidel určených pro podzemní práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2013, 95 s. Vedoucí práce: Olivková, I.

Diplomová práce je zaměřena na výběr silničních vozidel pro podzemní práce tj. kolového nakladače a pásového rypadla pomocí multikriteriálních metod. První část pojednává o vymezení kritérií, na základě kterých bude proveden výběr vozidel, včetně vysvětlení proč byla zvolena právě tato kritéria. Dále podrobný popis multikriteriální analýzy, její účel a užití. Další část diplomové práce je věnována multikriteriálním metodám, které jsou aplikovány v této práci při výběru vozidel, jejich popis a postup řešení a následně je provedena celková analýza. Součástí této práce je i srovnání mnou vybraných vozidel s vozidly, která již byla předurčena pro nadcházející stavbu. Porovnání je provedeno opět, dle multikriteriální analýzy. Poslední část diplomové práce obsahuje interpretaci dosažených výsledků.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

MOJŽÍŠ, P. *Application of Multi-criteria Evaluation Method for the Selection of Road vehicles Used for Underground Work: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2013, 95 p. Thesis head: Olivková, I.

Master Thesis is focused on selection of road vehicles specialized for underground works, in this case wheel loaders and crawler excavators by using multi-criteria methods. First part deals with the definition of the criteria based on which will be made a selection of vehicles, including an explanation of why was these criteria chosen. As a next was detailly described multi-criteria analysis, its purpose and use. Another part of this Master Thesis is focused to multi-criterial methods, which are applied for selection of vehicles relevated to this work, as follow their description, solution procedure with final analysis. Part of this work includes compare of selected vehicles with other ones, which were chosen to main work. Compare was made based on multi-criterial analysis. The last part contain interpretation of achieved results.

# Obsah

<b>Seznam použitých zkratk.....</b>	<b>8</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam grafů .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Úvod.....</b>	<b>12</b>
1.1. Stavba tunelu .....	13
1.1.1. Tunelovací metody .....	13
1.1.2. Legislativa .....	16
<b>2. Vymezení kritérií výběru silničního vozidla .....</b>	<b>18</b>
2.1. Technická kritéria.....	18
2.1.1. Rozměry vozidla .....	18
2.1.2. Ovládání vozidla .....	19
2.1.3. Výkon vozidla .....	20
2.2. Ekonomická kritéria .....	21
2.2.1. Pořizovací cena .....	21
2.2.2. Spotřeba vozidla.....	21
2.2.3. Servis vozidel .....	23
2.3. Ostatní kritéria.....	24
2.3.1. Speciální vybavení vozidla .....	24
2.3.2. Dostupnost vozidla.....	25
<b>3. Obecný popis metod.....</b>	<b>26</b>
3.1. Podstata úloh multikritériálního rozhodování .....	26
3.2. Klasifikace úloh multikritériálního rozhodování.....	27
3.3. Obecný postup řešení multikritériálních úloh .....	27
3.3.1. Vytvoření soustavy kritérií.....	28
3.3.2. Stanovení vah kritérií hodnocení .....	28
3.3.3. Stanovení vzorových hodnot vah kritérií .....	29
3.3.4. Hodnocení dosažených výsledků .....	29
3.3.5. Posouzení rizika spojeného s případnou realizací variant.....	29
3.3.6. Výběr nejvhodnější varianty .....	30
3.4. Obecný popis aplikovaných multikritériálních metod.....	30
3.4.1. Metoda celkového užitku .....	30
3.4.2. Metoda WSA (Weighted Sum Approach) .....	33
<b>4. Výpočtová část.....</b>	<b>36</b>
4.1. Výpočet celkových užitků variant pro kolové nakladače dle metody celkového užitku .....	38
4.2. Výpočet celkových užitků variant pro kolové nakladače dle metody váženého součtu .....	40

4.3.	Výpočet celkových užiteků variant pro pásová rypadla dle metody celkového užitku .....	43
4.4.	Výpočet celkových užiteků variant pro pásová rypadla dle metody váženého součtu.....	46
<b>5.</b>	<b>Vyhodnocení a výběr silničního vozidla .....</b>	<b>50</b>
5.1.	Vyhodnocení výsledků z aplikace multikriteriálních metod pro výběr kolového nakladače .....	50
5.2.	Vyhodnocení výsledků z aplikace multikriteriálních metod pro výběr pásového rypadla .....	52
5.3.	Porovnání vybraných vozidel s vozidly předurčených pro stavbu Sudoměřického tunelu .....	54
<b>6.</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam použité literatury a zdrojů .....</b>	<b>58</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>61</b>

## Seznam použitých zkratk

<b>a.s.</b>	Akciová společnost
<b><math>D_j</math></b>	Bazální varianta j-tého prvku [-]
<b>EHK</b>	Evropská hospodářská komise
<b><math>H_j</math></b>	Ideální varianta j-tého prvku [-]
<b><math>k_j</math></b>	Nenormovaná váha kritéria j-tém sloupci [-]
<b>n</b>	Počet kritérií
<b>NRTM</b>	Nova rakouská tunelovací metoda
<b>OHL ŽS, a.s.</b>	Obrascon Huarte and Lain železniční stavby, akciová společnost
<b>PHM</b>	Pohonné hmoty
<b><math>R_{ij}</math></b>	Normovaný prvek v i-tém řádku a j-tém sloupci matice R [-]
<b>"S"</b>	Pracovní stroje
<b>TBM</b>	Tunnel boring machine (razicí štít)
<b><math>U(a_i)</math></b>	Celkový užitek varianty v i-tém řádku [-]
<b><math>U_{ij}</math></b>	Normovaný prvek v i-tém řádku a j-tém sloupci matice U [-]
<b><math>v_j</math></b>	Normovaná váha kritéria j-tém sloupci [-]
<b>WSA</b>	Weighted Sum Approach (metoda váženého součtu)
<b><math>Y_{ij}</math></b>	Prvek v i-tém řádku a j-tém sloupci matice Y [-]



## Seznam tabulek

<b>Tabulka č. 1</b>	Výkaz spotřeby pohonných hmot	22
<b>Tabulka č.2</b>	Výkaz spotřeby pohonných hmot	23
<b>Tabulka č.3</b>	Příklad kritériální matice	31
<b>Tabulka č.4</b>	Příklad průměrných hodnot vah kritérií v obecném zápisu	32
<b>Tabulka č.5</b>	Transformovaná normalizovaná matice U	32
<b>Tabulka č.6</b>	Celkový užitek variant	33
<b>Tabulka č.7</b>	Normalizovaná kritériální matice v obecném zápisu	33
<b>Tabulka č.8</b>	Obecný zápis ideální a bazální varianty výchozí kritériální matice	34
<b>Tabulka č.9</b>	Přepočet kritérií v obecném zápisu	34
<b>Tabulka č.10</b>	Vážený užitek variant	35
<b>Tabulka č.11</b>	Stanovení vah kritérií	37
<b>Tabulka č.12</b>	Kritériální matice	38
<b>Tabulka č.13</b>	Transformovaná normalizovaná matice U	39
<b>Tabulka č.14</b>	Kritériální matice	40
<b>Tabulka č.15</b>	Kritériální matice s maximalizačními kritérii	41
<b>Tabulka č.16</b>	Bazální a ideální varianty pro daný sloupec	41
<b>Tabulka č.17</b>	Normalizovaná kritériální matice	42
<b>Tabulka č.18</b>	Váhy kritérií stanovené první hodnotitelem	44
<b>Tabulka č.19</b>	Kritériální matice	44
<b>Tabulka č.20</b>	Transformovaná matice	44
<b>Tabulka č.21</b>	Kritériální matice	46
<b>Tabulka č.22</b>	Kritériální matice s maximalizačními kritérii	47
<b>Tabulka č.23</b>	Bazální a ideální varianty pro daný sloupec	47
<b>Tabulka č.24</b>	Normalizovaná kritériální matice	48
<b>Tabulka č.25</b>	Vyhodnocení výběru kolových nakladačů	51
<b>Tabulka č.26</b>	Vyhodnocení výběru kolových nakladačů	51
<b>Tabulka č.27</b>	Vyhodnocení výběru pásových rypadel	53
<b>Tabulka č.28</b>	Vyhodnocení výběru pásových rypadel	53

**Seznam obrázků**

<b>Obr. č. 1</b>	Ražba horní části tunelu metodou NRTM	14
<b>Obr. č. 2</b>	Ražba spodní části tunelu metodou NRTM	14
<b>Obr. č. 3</b>	Razicí štít	15
<b>Obr. č. 4</b>	Jádrová metoda ražby	16
<b>Obr. č. 5</b>	Pásová vozidla	18
<b>Obr. č. 6</b>	Interiér kolového nakladač	19
<b>Obr. č. 7</b>	Prvky vozidla pro lepší orientaci	20
<b>Obr. č. 8</b>	Filtr pevných částic a ochranný rám vozidla	25
<b>Obr. č. 9</b>	Fragment dotazníku	36
<b>Obr. č. 10</b>	New Holland w190c	52
<b>Obr. č. 11</b>	Caterpillar 323D LN	54

**Seznam grafů**

<b>Graf. č. 1</b>	Porovnání pořadí kolových nakladačů	52
<b>Graf. č. 2</b>	Porovnání pořadí pásových rypadel	54
<b>Graf č. 3</b>	Porovnání vozidel	55

## 1. Úvod

Pod pojmem silniční vozidla je možné si představit vozidla, která jsou běžně k vidění v silničním provozu, tj. osobní a nákladní automobily, motocykly tedy běžná vozidla se kterými se setkáváme každý den, např. při cestě do práce. Dle zákona č. 56/2001 Sb. je silniční vozidlo motorové nebo nemotorové vozidlo, které je vyrobeno za účelem provozu na pozemních komunikacích pro přepravu osob, zvířat nebo věcí. Silniční vozidla se dále dělí dle EHK, do jednotlivých kategorií, které jsou označeny písmeny. Jedna z těchto kategorií je označena písmenem "S", tj. pracovní stroje. Do této kategorie spadá široká škála vozidel, přičemž každé má svůj specifický účel využití.

Účelem této práce je za pomoci multikriteriálních metod vybrat silniční vozidla skupiny "S" pro výstavbu tunelu společností OHL ŽS, a.s. a porovnat vybraná vozidla s vozidly, která již byla předurčena pro stavbu s názvem "**Sudoměřický tunel**".

Společnost OHL ŽS, a.s. se sídlem v Brně se zaměřuje na komplexní realizace nejrůznějších stavebních děl v následujících oborech: dopravní, železniční, silniční, dálniční, vodohospodářské pozemní stavby a další. Byla založena v roce 1952 a její poslání bylo především k zajištění stavebních prací pro tehdejší československé státní dráhy, tedy výstavbu, rekonstrukci a opravy železničních tratí a budov. V následujících letech byl podnik začleněn i do ostatních oborů. Nyní má společnost 533 vlastníků, přičemž majoritním vlastníkem je velká španělská stavební skupina OHL ŽS, a.s. Jedná se o 5. největší firmu v České republice s ročním obratem 10 miliard Kč, provádějící stavby nejen v Česku, ale i v zahraničí.

Jelikož se plánují nové stavby tunelů v České republice a na Slovensku, zvažuje divize v Brně zakoupit další kolový nakladač a pásové rypadlo z důvodů jejich nedostatku. Bylo by možno vozidla pouze zapůjčit, nicméně při realizaci projektu, který trvá několik let, se zapůjčení nevyplatí. Tato práce je tedy zaměřena na výběr dvou stavebních strojů, které by měli být nasazeny na plánující se stavby tunelů v ČR a SR a dále jak již bylo zmíněno tyto stroje porovnat multikriteriální analýzou se stroji kolový nakladač Volvo 120 F a pásové rypadlo Liebherr R924, které budou provádět výstavbu Sudoměřického tunelu. Jelikož společnost volí vždy tyto vozidla, především na základě jejich universálnosti a široké škály využití, nastává situace, že mnoho strojů v divizi v Brně, není využito v plném rozsahu. Jinak řečeno z technického hlediska, mnoho strojů je pro stavby tunelů zbytečně předimenzováno. Lze se tedy domnívat, že náklady, které plynou z provozu těchto vozidel,

by se daly postupně snižovat nákupem nové mechanizace, která by lépe odpovídala technickým požadavkům pro realizaci staveb.

Sudoměřický tunel situován na Tábořsku bude představovat dvojkolejnou železniční trať s délkou 430 m. Realizace projektu bude probíhat v letech 2013 – 2015, přičemž do října roku 2013 se předpokládá pouze průběh přípravných prací a následně začne samotná ražba tunelu.

## 1.1. Stavba tunelu

Tunel je dopravní stavba, která vede pod zemí skrz vyvýšenou krajinu, pod mořem, říčním tokem. Obvykle slouží pro silniční, kolejovou nebo pěší dopravu. Metoda, kterou se provádí výstavba tunelů, se nazývá tunelování. [1]

Budování tunelů v České republice začalo v polovině 19. století, které byly především využity pro železniční tratě z důvodů překonání kopců. V následujících letech došlo k vybudování tunelů i pro silniční dopravu, nicméně jejich výstavba byla velmi ojedinělá. Od poloviny 90. let začala éra výstavby tunelů, která trvá dodnes. Příčina je zejména v souvislosti s tlakem na ochranu životního prostředí. V České republice z nejdelších tunelů pro silniční dopravu bude tunel Blanka měřící 5502 m, který bude zprovozněn v roce 2014 a pro kolejovou dopravu Březenský tunel měřící 1758 m.

### 1.1.1. Tunelovací metody

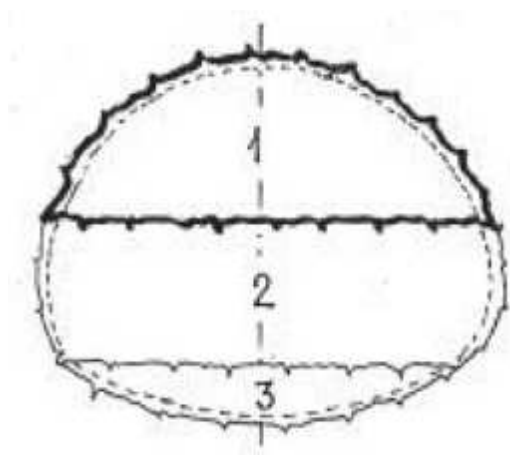
Před započítím výstavby tunelu je zapotřebí vhodně zvolit tunelovací metodu, pomocí které se bude provádět stavba. Tato metoda se volí na základě předchozího geologického průzkumu, kde se sleduje stavba podloží, složení hornin, případně podzemní prameny. Následně se provede vyhodnocení získaných údajů a volba vhodné tunelovací metody.

#### **Druhy metod:**

*Metoda NRTM (nová rakouská tunelovací metoda)*

Jedná se o novou rakouskou metodu, kde se nerazí celý profil tunelu naráz, ale jeho ražba probíhá po částech. Díky tomu ražba probíhá rychleji a zároveň hornina plní nosnou funkci díla. Princip metody a ražba horní části tunelu je zobrazen na **obr. č. 1** a následně se

provede ražba spodní části, která je zobrazena na **obr. č. 2**. V první fázi se razí vrchní část tunelu, přičemž ihned po dokončení prací se tato část vyztuží ostěním, které se skládá z primárního a sekundárního ostění. Ostění slouží ke zpevnění celého výrubu a tím se zajistí bezpečnost pro další práce. Primární ostění tvoří ocelové výztuhy a armatura, na kterou se nastříká beton. Toto ostění zajistí dočasnou stabilitu výrubu do té doby, než je celá ražba ukončena a je možno aplikovat sekundární ostění, které se skládá opět z armatury a konečné betonáže tunelu pomocí bednicího vozu.



*Obr. č. 1 Ražba horní části tunelu metodou NRTM [2]*

Před provedením sekundárního ostění, je na primární ostění položena hydroizolační vložka, která chrání sekundární ostění před působením vody.



*Obr. č. 2 Ražba spodní části tunelu metodou NRTM [2]*

#### *Metoda TBM (tunnel boring machine)*

Ražba je prováděna za pomoci tunelovacího štítu znázorněného na **obr. č. 3**. Štít je schopen vrtat tunely kruhového průřezu v různorodých zeminách. Je schopen razit tunel o průřezu 1 – 19,25 m. Tento stroj může přesáhnout délku 100 m a mít váhu až 900 tun. Jeho

základní částí je řezná hlava s řeznými břity, která odtěžuje horninu a odvádí ji do odtěžovací komory, kde je pásovým dopravníkem hornina dopravována pryč. Betonáž profilu tunelu u této metody neprobíhá, jelikož razicí štít si sám pokládá do profilu tunelu tzv. tubingy (prefabrikované betonové dílce).



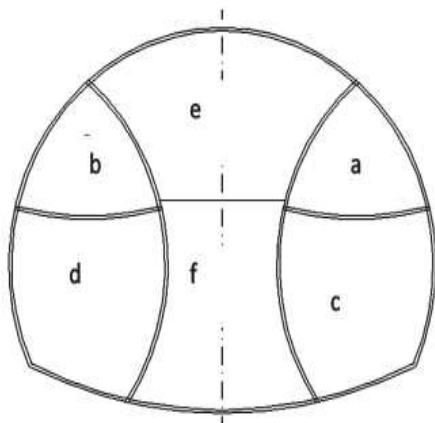
Obr. č. 3 Razicí štít [3]

Použití této metody je velmi efektivní, ale nákladné. Již samotná příprava na ražbu zabere spoustu času. Zařízení je velmi rozměrné, takže na místo práce je dopraveno po částech, kde se následně musí smontovat. Velkou výhodou využití má především u měkkých podloží, kde by mohlo dojít k propadu, v případě využití jiných metod tunelování. Naopak nevýhoda je, že ražba v nestejnorodém podloží často způsobuje zanesení řezné hlavy, jelikož na každý druh horniny je zapotřebí použít jiné řezné břity.

#### *Jádrová metoda ražby*

Využití této metody má především zastoupení, jako u metody TBM u měkkých podloží, kde hrozí propad při ražbě. Princip této ražby je znázorněn na **obr. č. 4**, kde plocha výrubu je rozdělena do několika sektorů tzv. kapliček. Ražba vždy začíná ve spodní části a při vytunelování stanoveného profilu tj. kapličky se za pomoci ocelových výztuží vyztuží strop a následně se provede primární ostění výrubu. Ocelové výztuže plní nosnou funkci tak, aby nedošlo k propadu, případně uvolnění horniny. Slouží pouze, jako dočasné výztuže, které jsou snadno rozebíratelné a při vytunelování celého profilu na daném úseku a provedení primárního ostění, dojde k odstranění všech dočasných výztuží. Stejným způsobem se postup opakuje, až se dosáhne konečného výrubu a provede se sekundární ostění a následná betonáž opět pomocí bednicího vozu. Bednění vozu představuje stejný profil, jaký má tunel, kdy vozidlo s bedněním najede do tunelu a mezi bednění a výrubem vznikne mezera, která je vyplněna směsí betonu s příměsemi. Směs

betonu je do meziprostoru dopravována čerpadly. Po několika dnech je možno bednicí vůz posunout a postup opakovat, až se dosáhne konce tunelu.



Obr. č. 4 Jádrová metoda ražby [2]

### 1.1.2. Legislativa

Každý projekt podléhá předpisům, podle kterých je nutno se řídit. V případě ražby tunelu je tomu stejně tak, nicméně tyto stavby podléhají zvláštním předpisům. Tunelování je pracovní činnost se zvýšeným rizikem nebezpečí. Jelikož se pracuje v podzemí v prašném prostředí, kde hrozí propad, případně uvolnění kusu horniny a její pád a další potenciální nebezpečí, spadají tyto práce pod kontrolu státního orgánu, který se nazývá Český báňský úřad. Tento úřad vydal předpisy, kde je přesně definováno, za jakých podmínek lze pracovat v podzemí, včetně požadavků na technické vybavení strojů, bez kterých nelze tyto stroje pro ražbu tunelu použít.

Základním požadavkem pro práci v podzemí je bezpečnost a zdraví při práci. Všichni zaměstnanci musí nosit ochranné helmy a reflexní vesty. Bez těchto ochranných pomůcek, nesmí nikdo vstoupit do tunelu. Dostatečnou cirkulaci čerstvého vzduchu a odsávání prachu zabezpečuje ventilace. Další povinnosti se vztahují na technické vybavení a na pracovníky. Každé vozidlo, které pracuje v podzemí, musí být vybaveno STOP tlačítkem, samohasicím zařízením pro případ požáru, filtrem pevných částic atd. Dále vozidla musí být vybavena ochrannými rámy, jelikož uvnitř raženého tunelu je velmi málo prostoru a zvýšené riziko nebezpečí. Často se také aplikují ochranné kryty pístnic hydraulických systémů nejen z důvodů vysoké hladiny prašnosti, ale i z důvodu možného mechanického poškození např. uvolněnou horninou.



V neposlední řadě, musí obsluha stroje vlastnit strojní průkaz dané kategorie stroje a podrobovat se pravidelně přezkoušení. Také samotná vozidla musí být udržovaná v požadovaném technickém stavu a pravidelně kontrolována podle předpisů Českého báňského úřadu. Kontroluje se funkčnost vozidla, těsnost všech hydraulických systémů, zdali nejsou mechanicky porušeny části vozidla a funkčnost bezpečnostních prvků.

## 2. Vymezení kritérií výběru silničního vozidla

Před výběrem každého vozidla je nejdříve nutné zvážit, jaký typ vozidla plánujeme pořídit. Dále co od něj očekáváme a jaký účel využití bude plnit. Na základě toho si pevně stanovit kritéria, dle kterých bude proveden výběr. V neposlední řadě nás vždy zajímá i cena vozidla, zda není výhodnější si jej pouze pronajmout na určitou dobu než koupit. Toto jsou pouze základní kritéria, která je nutno brát v úvahu při volbě vozidla. Nicméně je zapotřebí se zaměřit i na detailnější parametry a i na jejich základě provést výběr. Špatná volba vozidla může vést k nedodržení předpokládaného termínu dokončení stavby a zvýšeným nákladům na provoz stroje.

### 2.1. Technická kritéria

Od každého typu vozidla očekáváme různorodé technické parametry na základě jejich účelu využití. Bavíme-li se o pracovních strojích, budou nás nejvíce zajímat parametry, aby byl stroj schopen vykonávat práci v požadovaném rozsahu a efektivně. Kritéria budou tedy následující.

#### 2.1.1. Rozměry vozidla

Rozměr vozidla je jeden s nejdůležitějších parametrů, na který je kladen velký důraz. Jelikož je prováděn výběr vozidel, která se převážně pohybují uvnitř tunelu, kde je omezený prostor, musí mít takové rozměry, aby svou velikostí neomezovala při práci ostatní vozidla a nikdo nebyl ohrožen na lidském životě. Přičemž se očekává, že budou splňovat všechny požadované technické parametry a vykonávat práci v patřičném rozsahu.



Obr. č. 5 Pásová vozidla [2]

Na **obr. č. 5** jsou znázorněny dvě pásová rypadla s podobnými technickými parametry. Jsou schopny vykonávat práci ve stejné efektivitě. Na první pohled není mezi nimi příliš velký rozdíl, nicméně vozidlo na levé fotografii má zkrácenou zád' na rozdíl od druhého vozidla. Při natáčení kabiny stroje nedojde k přesahu závaží a nijak neomezí své okolí. Tato vozidla mají širokou škálu využití nejen při běžných pracích, ale především v místech s omezeným prostorem. Samozřejmě tento parametr není jediným nutným rozměrem, který je důležitý. Jedná se pouze o příklad, na co vše je nutné dbát, při výběru vhodného vozidla. Při výběru kolového nakladače je nutností dbát nejen na rozměry vozidla, ale i na objem lžice, která je součástí základní výbavy, protože do této výbavy se vždy dává lžice s nižším objemem. Větší je možno dokoupit, což přinese další náklady na pořízení stroje. Nicméně každý výrobce dává k základní výbavě lžici s jiným objemem, proto lze, při vhodném výběru zakoupit stroj, bez nutnosti další investice za lžici.

#### 2.1.2. Ovládání vozidla

Dalším z důležitých prvků každého vozidla je jeho dobrá ovladatelnost. V dřívějších dobách byly vozidla kategorie "S" ovládány především pomocí několika hydraulických pák. V dnešní době jsou již v široké škále vozidla vybavena hydrostatickým pohonem s poloautomatickou převodovkou a jejich ovládání umožňuje joystick, který přináší maximální komfort a pohodlné ovládání vozidla.

Základem pohodlného ovládání vozidla je dobrý rozhled z kabiny řidiče a to do všech směrů. Řešení ovládání vozidla je u každého výrobce provedeno jinak. Jedním z efektivních řešení je například u kolového nakladače Caterpillar 966K, kde bylo nahrazeno ovládání volantem joystickem. Interiér kabiny řidiče je zobrazen na **obr. č. 6**.



*Obr. č. 6 Interiér kolového nakladače [4]*

Dále jsou instalována konvexní čelní skla a snižuje se počet sloupků, což výrazně zlepšuje výhled z kabiny nakladače. Vozidla se také vybavují větším počtem vyhřívaných zpětných zrcátek, aby byl zajištěn výhled do všech stran. Další novinkou je instalace kamery, která umožňuje snímat pohled vzad při couvání a vše je přenášeno na display umístěný v kabině. Řidič má tak neustálý přehled o prostoru kolem sebe, zda není někdo v jeho okolí. Oba tyto prvky jsou zobrazeny na **obr. č. 7**.



*Obr. č. 7 Prvky vozidla pro lepší orientaci [4]*

V dnešní době, kdy každý výrobce vozidel se chce držet na špici ve svém oboru, musí neustále modernizovat a zdokonalovat své výrobky, aby ten jeho měl na trhu úspěch. Neustále vyvíjí nové technologie a vylepšuje svá vozidla. Při výběru vozidla je nutno hledět i na novinky co prodejce nabízí, případně brzy nabídne. Mnohdy se pak v praxi stává, že kupující podcení své požadavky a nedostatky na vozidle nalezne až po jeho zakoupení.

### 2.1.3. Výkon vozidla

Tento parametr je jeden z nejdůležitějších při koupi vozidla. Před samotnou koupí musí mít kupující představu, v jakých mezích by se měla hodnota výkonu pořizovaného stroje pohybovat. Tato hodnota závisí především na druhu práce, kterou bude stroj vykonávat. Na základě tohoto parametru si lze zvolit několik možných strojů od různých výrobců, které splňují naše požadavky a z nich si vybrat konečné vozidlo.

Všechny výše uvedená technická kritéria spolu velmi úzce souvisí. Při volbě jednoho kritéria například požadavek na vysoký výkon vozidla, musím počítat s tím, že vozidlo bude větších rozměrů a zároveň musíme počítat z pravidla s vyšší spotřebou pohonných hmot. V praxi se pak běžně stává, že při výběru se musí přistoupit na kompromis. Někde snížit své prvotní požadavky na vozidlo, aby bylo dosaženo jiných předpokladů, které jsou důležitější.

## 2.2. Ekonomická kritéria

Do této kategorie spadají položky, které nám ovlivní celkové náklady vynaložené na provoz vozidla včetně jeho koupě, což v případě nevhodné volby vozidla může mít dopad na celkové finanční hodnocení stavby. Dále se musí brát ohled i na nutnost pravidelných servisních prohlídek od autorizovaných servisů, případně samotné opravy. Některé díly na vozidle mají stanovenou životnost a musí být při technické prohlídce vyměněny, přičemž každý výrobce má jiné ceny.

### 2.2.1. Pořizovací cena

Při koupi jakéhokoliv vozidla nás vždy na prvním místě zajímá jeho cena, která se vždy odvíjí od toho, co všechno od vozidla očekáváme. Nicméně koupě vozu s nižší cenou nemusí být vždy ta nejlepší cesta k tomu, jak ušetřit a zároveň být maximálně spokojen s vozidlem. V některých případech lze zvažovat pouze zapůjčení vozidla, ale tato varianta se uplatňuje pouze v případech jeho krátkodobého využití, kde by se samotná koupě nevyplatila. V našem případě, kdy vozidla budou v provozu každý den, tato varianta nepřipadá v úvahu. Základní pořizovací cena stroje, kterou uvádí prodejce, není konečná. Jak již bylo zmíněno, vozidla jsou určena pro práci v podzemí, musí být speciálně upravena, což pořizovací cenu navýší. Navíc každý prodejce má ceny za speciální úpravy jiné. Nezáleží jen na značce, ale i pro koho je vozidlo určeno. Jestliže má o něj zájem dlouholetý zákazník, samozřejmě, že cena pro něj bude nižší, než pro společnost, která si od této firmy zakupuje stroj poprvé.

### 2.2.2. Spotřeba vozidla

Na spotřebu vozidla v dnešní době, kdy cena pohonných hmot neustále roste, bere ohled téměř každý. Především u vozidel, kde se spotřeba pohybuje za jednu "motohodinu"

kolem 13 ti litrů a více. Níže v **tabulkách 1 a 2** jsou uvedeny výkazy o spotřebě pohonných hmot dvou typů kolových nakladačů s podobnými technickými parametry.

Tabulka č. 1 Výkaz spotřeby pohonných hmot [2]

Výkaz spotřeby pohonných hmot							
Typ: Kolový nakladač VOLVO 120F						Ev. č.	
Datum	Stav Mth.	Denní výkon: Mth.	Tankování			Denní spotřeba [l]	Zásoba v nádrži [l]
			Karta CCS	Cisterna	Zásobník PHM		
<b>Počáteční stav:</b>	<b>3444</b>						<b>234,00</b>
1.10.2012	3452	8,0				114,00	120,00
2.10.2012	3460	8,0				99,00	236,00
3.10.2012	3468	8,0				101,00	135,00
4.10.2012	3476	8,0				96,00	39,00
5.10.2012	3484	8,0				112,00	77,00
6.10.2012	3493	9,0				126,00	205,00
7.10.2012	3509	16,0				224,00	126,00
8.10.2012	3520	11,0				154,00	122,00
9.10.2012	3529	9,0				126,00	156,00
10.10.2012	3539	10,0				140,00	166,00
11.10.2012	3548	9,0				144,00	22,00
12.10.2012	3553	5,0				80,00	168,00
13.10.2012	3561	8,0				128,00	29,00
14.10.2012	3569	8,0				98,00	192,00
15.10.2012	3577	8,0				85,00	107,00
16.10.2012	3585	8,0				101,00	266,00
17.10.2012	3593	8,0				101,00	165,00
18.10.2012	3601	8,0				101,00	64,00
19.10.2012	3609	8,0				101,00	173,00
20.10.2012	3617	8,0				101,00	72,00
21.10.2012	3625	8,0				85,00	237,00
22.10.2012	3637	12,0				127,00	110,00
23.10.2012	3650	13,0				138,00	242,00
24.10.2012	3665	15,0				159,00	253,00
25.10.2012	3673	8,0				85,00	168,00
26.10.2012	3681	8,0				85,00	323,00
27.10.2012	3693	12,0				175,00	148,00
28.10.2012	3706	13,0				138,00	10,00
29.10.2012	3719	13,0				151,00	113,00
30.10.2012	3731	12,0				139,00	224,00
31.10.2012	3744	13,0				151,00	73,00
<b>Suma:</b>		300,0				3765,00	
<b>Načerpání <math>\Sigma</math> =</b>						<b><math>\sigma</math> = 12,55</b>	<b>l/Mth</b>

Výkazy jsou poskytnuty společností OHL ŽS, a.s. kde jsou znázorněny denní spotřeby vozidel za časový úsek jednoho měsíce a následně je vypočtena průměrná spotřeba za měsíc na jednu "motohodinu". Porovnáme-li průměrné spotřeby těchto dvou vozidel, která vykonávají obdobnou práci, dojdeme k závěru, že jedno vozidlo má o více jak litr nižší spotřebu na "motohodinu", což můžeme považovat u typu těchto vozidel za zanedbatelné množství. Nicméně když provedeme jednoduchou kalkulaci, kde jedno vozidlo bude mít o litr nižší spotřebu na "motohodinu", přičemž je toto vozidlo na stavbě v provozu minimálně osm hodin denně, pět dní v týdnu po dobu jednoho měsíce, dostaneme se k úspoře cca 150 litrů pohonných hmot za měsíc. V přepočtu na finanční prostředky se dostaneme k několika tisícové úspoře, což za rok dělá rozhodně

nezanedbatelnou částku. Samozřejmě tato kalkulace je pouze orientační, ale i spotřeba je jeden z důležitých faktorů, který nám ovlivní celkové výdaje vynaložené na provoz vozidla.

Tabulka č.2 Výkaz spotřeby pohonných hmot [2]

Výkaz spotřeby pohonných hmot							
Typ:		Kolový nakladač LIEBHERR L566				Ev. č.	
Datum	Stav Mth.	Denní výkon: Mth.	Tankování			Denní spotřeba [l]	Zásoba v nádrži [l]
			Karta CCS	Cisterna	Zásobník PHM		
<b>Počáteční stav:</b>	<b>2141</b>						<b>202,00</b>
1.10.2012	2148	7,0				120,00	362
2.10.2012	2157	9,0				135,00	227
3.10.2012	2166	9,0				132,00	375
4.10.2012	2175	9,0				135,00	240
5.10.2012	2184	9,0				135,00	380
6.10.2012	2194	10,0				148,00	232
7.10.2012	2203	9,0				135,00	237
8.10.2012	2209	6,0				85,00	252
9.10.2012	2216	7,0				104,00	268
10.10.2012	2218	2,0				25,00	243
11.10.2012	2221	3,0				40,00	203
12.10.2012	2223	2,0				23,00	180
13.10.2012	2226	3,0				40,00	475
14.10.2012	2229	3,0				35,00	440
15.10.2012	2231	2,0				25,00	415
16.10.2012	2234	3,0				35,00	380
17.10.2012	2236	2,0				20,00	360
18.10.2012	2239	3,0				34,00	326
19.10.2012	2241	2,0				20,00	306
20.10.2012	2244	3,0				32,00	274
21.10.2012	2246	2,0				20,00	254
22.10.2012	2249	3,0				32,00	222
23.10.2012	2251	2,0				20,00	202
24.10.2012	2254	3,0				33,00	169
25.10.2012	2256	2,0				20,00	409
26.10.2012	2257	1,0				10,00	399
27.10.2012	2258	1,0				10,00	389
28.10.2012	2259	1,0				12,00	377
29.10.2012	2259	0,0				0,00	377
30.10.2012	2260	1,0				16,00	361
31.10.2012	2260	0,0				0,00	361
<b>Suma:</b>		119,0				1631,00	
Načerpané $\Sigma$ =			$\sigma$ =			13,71	l/Mth

### 2.2.3. Servis vozidel

Všechny vozidla podléhají pravidelnému servisu ve stanovených intervalech. Servis probíhá podle údržbového plánu, který je sestaven tak, aby byly zkontrolovány prvky vozidla, u kterých by mohlo dojít k jejich poškození během provozu. Každý druh vozidla má interval kontroly nastaven jinak. U osobních automobilů je to zpravidla po určitém počtu najetých kilometrů. V případě vozidel skupiny "S" je nutnost podrobit vozidla pravidelnému servisu většinou po uplynutí 500 "motohodin" provozu. Kontrola je zaměřena na funkčnost jednotlivých prvků vozidla, těsnost hydraulických systémů,



výměnu filtrů, náplním případně výměna dalších komponentů, které byly poškozeny během provozu atd. Ceny za servisní prohlídky mají výrobci nastaveny různě, nicméně při volbě vozidla tohoto typu, je zapotřebí dbát i na dostupnost servisů. Společnost OHL ŽS, a.s. má smlouvené pobočky u autorizovaných servisů na některých místech ČR a SR, odkud v případě poruchy na vozidle vyjede servisní vůz s technikou a následně vozidlo opraví přímo na místě stavby, pokud se nejedná o závažnější závadu. Proto je zapotřebí brát i ohled na dostupnost servisu k místu, kde se právě stroj nachází. Velká vzdálenost mezi stavenišťem a servisním střediskem může i pozastavit práce na delší dobu a zvýšit cenu za servis vozidla.

## 2.3. Ostatní kritéria

Do této kategorie jsou zařazena kritéria, která je také nutno brát při výběru v úvahu, přičemž částečně souvisí s technickými, případně i ekonomickými kritérii.

### 2.3.1. Speciální vybavení vozidla

Jak již bylo zmíněno v úvodu této práce, vozidla pracující v podzemí musí být vybavena některými bezpečnostními prvky. Z pravidla každý výrobce je schopen takto upravit vozidlo sám, nicméně to přináší další vynaložené finanční prostředky na úpravu vozidla. Některé prvky se již už objevují v základní výbavě. Náklady na tyto úpravy, závisí především na jednotlivých výrobcích, kde si každý určuje své ceny. Samozřejmě toto kritérium velmi úzce souvisí s dodací lhůtou, jak rychle od koupě je vozidlo dodáno kupujícímu, jelikož každé úpravy na vozidle představují zpoždění dodání vozidla. První obrázek na levé straně představuje filtr pevných částic, který odstraňuje 99% karcinogenů z výfukových zplodin. Na pravém obrázku je znázorněn mohutný ocelový rám, který chrání kapotáž motorového prostoru. Jedná se pouze o příklad dvou z několika prvků.



Obr. č. 8 Filtr pevných částic a ochranný rám vozidla [2]



### 2.3.2. Dostupnost vozidla

Zakoupit vozidlo v dnešní době není nic složitého, nicméně mnohdy se můžeme při koupi setkat s tím, že prodávající má ve své prodejně pouze vystavené vozidlo, které není určeno přímo k prodeji. Slouží pouze jako výstavní kus, kde si může potencionální zákazník prohlédnout všechny jeho detaily, vyzkoušet jeho pohodlí a seznámit se všemi technickými parametry. Bohužel ne vždy, když se zákazník rozhodne pro koupi, je možno si vozidlo ihned odvézt. Především u vozidel, kde jejich ceny se pohybují ve vyšších částkách a jejich prodej není tak častý, jako u osobních automobilů. Zákazník pak mnohdy musí čekat, dokonce i na samotnou výrobu stroje a následné dodání, zpravidla několik týdnů až měsíců, což může někdy přinášet problém v případě nutnosti mít vozidlo co nejdříve na stavbě. Nicméně tato problematika se netýká vždy všech výrobců a všech vozidel. Proto je zapotřebí při výběru vozidla brát ohled i na dobu dodání v případě, že jej potřebujeme co nejdříve.

### 3. Obecný popis metod

Multikriteriální analýza se zabývá hodnocením možných alternativ podle několika kritérií, přičemž alternativa hodnocená podle jednoho kritéria, zpravidla nebývá nejlépe hodnocená podle kritéria jiného. Metody vícekriteriálního rozhodování poté řeší konflikty mezi vzájemně protikladnými kritérii. Jde o metodu, která má za cíl shrnout a utřídit informace o variantních projektech.

Vícekriteriální rozhodování vzniká všude tam, kde rozhodovatel hodnotí důsledky své volby dle několika kritérií, a to kritérií kvantitativních, která se zpravidla vyjadřují v přirozených stupnicích, nebo kritérií kvalitativních, kdy zavádíme vhodnou stupnici, např. stupnice klasifikační nebo stupnice velmi vysoký-průměrný-nízký-velmi nízký a současně definujeme směr lepšího hodnocení, tj. zda je lepší maximální nebo minimální hodnota (klesající nebo stoupající hodnoty).

Je-li k dispozici seznam kritérií i seznam rozhodovacích variant, je nutné zvážit, jakou formu by mělo konečné rozhodnutí mít. Multikriteriální analýza v podstatě slouží k modelování rozhodovacích situací, ve kterých je definována množina variant a soubor kritérií, podle nichž budou varianty hodnoceny. [5]

#### 3.1. Podstata úloh multikriteriálního rozhodování

Rozhodnutím rozumíme vybrání jedné varianty ze seznamu v dané situaci potencionálně realizovatelných variant na základě většího množství kritérií.

Vedle seznamu kritérií nepřímou formulující cíl rozhodovací analýzy je nutné mít k dispozici i seznam variant, z nichž rozhodnutí vybíráme. Případy, kdy je k dispozici jednoznačně definovaný seznam potencionálních variant, jsou spíše výjimkou, než pravidlem. Tento seznam může být zadán explicitně, jako výčet konečného počtu množství, nebo implicitně specifikací podmínek, které musí rozhodovací varianta splňovat, aby mohla být považována za přípustnou.

Je-li k dispozici seznam kritérií a variant, je nutné podrobněji uvážit, jakou formu by konečná rozhodnutí mělo mít. Trváme-li na tom, že je skutečně nutné vybrat jedinou optimální variantu určenou k realizaci, měli bychom si připustit, že v typických případech chceme z nespolehlivých a nedostatečných informací vytěžit něco, co v nich téměř jistě není obsaženo. [6]

### 3.2. Klasifikace úloh multikriteriálního rozhodování

Rozhodovací úlohy, kde se rozhodnutí posuzují na základě více kritérií, se nazývají úlohami vícekritériálními, nebo multikriteriálními.

Do této kategorie spadá široká škála úloh, proto není možno předložit univerzální teorii, dle které jednotlivé úlohy lze řešit. Rozhodování v úlohách tohoto typu, spočívá v transformaci dostupných informací. Důležitým hlediskem pro klasifikaci úloh, jsou informace obsažené v zadání úlohy, nebo které lze získat v průběhu jejího řešení. Podle toho tyto hlediska dělíme na úlohy vícekritériálního rozhodování do 4 kategorií.

- *úloha s informací umožňující skalarizaci optimalizačního kritéria,*
- *úloha bez informace umožňující skalarizaci,*
- *úloha s informací získanou v průběhu řešení,*
- *parametrické řešení. [6]*

### 3.3. Obecný postup řešení multikriteriálních úloh

Před započítím řešení každé úlohy, je zapotřebí nejdříve znát soustavu základních informací, které jsou následující:

- *o čem se má rozhodovat,*
- *jaké cíle mají být splněny,*
- *z jakých hledisek se má rozhodovat,*
- *k jakému časovému horizontu bude výsledek působit. [6]*

Obecný postup řešení vícekritériálního rozhodování obsahuje šest samostatných základních kroků:

- *vytvoření účelově orientované množiny kritérií hodnocení,*
- *stanovení vah kritérií hodnocení,*
- *stanovení vzorových hodnot vah kritérií,*
- *hodnocení dosažených výsledků,*
- *posouzení rizika spojeného s případnou realizací variant,*
- *výběr nejlepší varianty. [6]*

### 3.3.1. Vytvoření soustavy kritérií

Vytvoření soustavy kritérií, dle kterých bude provedeno následné hodnocení, je velmi důležitým krokem, kterým lze významně ovlivnit celkové výsledné hodnocení. Racionalita vytváření kritérií především závisí na důkladném poznání hodnoceného objektu, v našem případě pracovních strojů. Skupina kritérií musí být komplexní, aby dobře odrážela podstatné vlastnosti hodnocených vozidel.

Samotný výběr a uspořádání kritérií je velmi složitý proces, kde musí být nejen vybrána všechna důležitá kritéria, ale i vhodně zařazena do jednotlivých kategorií. V opačném případě bychom mohli dosáhnout zkreslujících výsledků. V našem případě byla kritéria zařazena do následujících kategorií:

- *technická kritéria,*
- *ekonomická kritéria,*
- *ostatní kritéria.*

Podle typu preference hodnot kritérií se rozlišují kritéria na:

- *s rostoucí preferencí (maximalizační, zisková),*
- *s klesající preferencí (minimalizační, ztrátová),*
- *se střídavou preferencí (preference se po dosažení určité hodnoty mění),*
- *kvantitativní (hodnoty lze vyjádřit číselně),*
- *kvalitativní (hodnoty lze vyjádřit verbálně). [6]*

### 3.3.2. Stanovení vah kritérií hodnocení

Při stanovení vah kritérií je zapotřebí zvážit závažnost (důležitost) jednotlivých kritérií. V případě, že rozhodovatel není schopen rozhodnout, důležitost jednotlivých kritérií, je nejjednodušší každému kritériu přiřadit stejnou váhu. Tato váha se vypočte podle následujícího vztahu.

$$v_j = \frac{1}{n}; j = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

kde  $n$  je počet kritérií. Pokud rozhodovatel nechce přiřadit všem kritériím stejné váhy, může váhový vektor stanovit podle následujících metod.

- *metoda pořadí,*
- *metoda párového srovnání,*

- *metoda alokace 100 bodů,*
- *metoda Sattyho. [6]*

### 3.3.3. Stanovení vzorových hodnot vah kritérií

Stanovení soustavy vzorových hodnot kritérií se zpravidla spojuje s pojmem "etalon". Etalon lze chápat dvěma odlišnými způsoby:

- *v prvním případě má etalon charakter detailně vypracovaného objektu – vzoru, s nímž jsou další hodnocené varianty srovnávány, s cílem získat kopii tohoto objektu,*
- *ve druhém případě má etanol opět charakter objektu – vzoru řešení, avšak jeho vlastnosti jsou záměrně redukovány na podstatné vlastnosti řešeného objektu a ty jsou při hodnocení předmětem pozorování. [6]*

### 3.3.4. Hodnocení dosažených výsledků

Posuzovaná varianta vždy do částečné míry svým způsobem splňuje předem požadované cíle. V jaké míře se podařilo tyto cíle splnit, je předmětem hodnocení dosažených výsledků variant.

Existuje několik způsobů a metod, jak hodnotit dosažené výsledky variant. V praxi se často stává, že je zapotřebí rozhodnout o variantách s vysokou prioritou, co nejlépe a co nejrychleji. Bohužel ne vždy všechny dostupné informace pro rozhodnutí odpovídají našemu požadavku. V těchto případech je zapotřebí využít metody bodovací nebo nepřímého párového srovnávání variant.

V případě, kdy jsou k dispozici podrobnější informace, nebo je lze získat v přijatelné době, je možno využít náročnějších metod pro hodnocení dosažených výsledků, jako jsou například metoda bazické varianty, nebo metoda vícerozměrného užitku založená na konstrukci tzv. dílčích funkcí užitku. [6]

### 3.3.5. Posouzení rizika spojeného s případnou realizací variant

Rizik spojených s případnou implementací variant je mnoho. Kterékoliv z nich při konkrétním hodnocení může mít značný význam a ovlivnit celkový výsledek hodnocení.

Týkají se především:

- *správnost formulace konkrétního problému,*
- *relativní úplnost a výstižnost vyjádření podstatných vlastností objektu, který je předmětem hodnocení,*
- *identifikace variant řešení,*
- *náhodných okolností, které by mohly nastat a případně ohrozit realizaci vybrané varianty.*

V případě hodnocení variant týmem expertů patří do okruhu těchto rizik ještě riziko vyplývající z kvality provedení expertního posouzení. To závisí na znalostech a zkušenostech expertů a správnosti jejich odhadů. Navíc je zapotřebí rozlišovat, zda odhad provádí jeden, či více expertů. [6]

### 3.3.6. Výběr nejvhodnější varianty

Nejvhodnější varianta pro dané řešení vyplyne z předchozích pěti kroků vícekritériálního hodnocení variant. Nicméně je možné, že zvolená varianta nám nepřinesla uspokojivé výsledky, proto lze někdy tento krok považovat za iteraci, kdy se provede revize předchozích kroků, přidáním dalších kritérií, případně posílení vah kritérií a následně dosažení jiného výsledku, který pro nás bude přijatelnější.

## 3.4. Obecný popis aplikovaných multikritériálních metod

Existuje široká škála multikritériálních metod, dle kterých lze provádět výběr vozidel. Nicméně v této práci budou aplikovány pouze dvě metody a následně porovnány dosažené výsledky.

### 3.4.1. Metoda celkového užitku

Před započítáním řešení úlohy za pomoci této metody, je zapotřebí disponovat vstupními daty.

- *seznam variant  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ ,*
- *seznam kritérií  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ ,*
- *kritériální maticí  $Y$ .*

Seznam variant představuje v podstatě počet možných v našem případě vozidel, z kolika bude proveden výběr a seznam kritérií představuje počet kritérií, kolik jich bylo stanoveno ke každému vozidlu. Hodnoty těchto kritérií se musí stanovit na základě dotazníků, kde jsou uvedeny nejdůležitější parametry hodnoceného objektu. Samotné hodnocení provádí tým osob, které mají k dispozici komplexní informace o hodnoceném objektu a v dané problematice se velmi dobře orientují. Výsledkem je kritériální matice znázorněná v **tabulce č. 3**. Kde jsou uvedeny jednotlivé parametry, které hodnotitel bodoval v rozmezí 1-10 bodů pro všechny varianty. Hodnoty uvedené v tabulce představují pouze příklad pro pochopení úlohy, nejsou směrodatné v této práci.

Tabulka č.3 Příklad kritériální matice

	<i>Cena</i>	<i>Pohodlí</i>	<i>Rychlost</i>	<i>Bezpečnost</i>
<i>EuroCity</i>	7	5	8	6
<i>InterCity</i>	8	7	7	6
<i>EuroNight</i>	6	5	9	8
<i>Expres</i>	7	9	8	9

Dalším důležitým krokem je stanovit váhy jednotlivých kritérií. Jejich váhy se vyjadřují číselně. Čím větší číslo, tím vyšší váha kritéria. Pro stanovení bude aplikována metoda párového srovnání, kdy tým hodnotitelů určuje pořadí preferencí jednotlivých kritérií. A to od nejvýznamnějšího po nejméně významný. Pro stanovení nenormované váhy kritérií se uplatňuje následující vztah.

$$k_{j=n+1-p_j} \quad (2)$$

$k_j$ ... nenormovaná váha kritéria  $j$ -tém sloupci [-]

$n$  ... počet kritérií

$p_j$ ... pořadí kritérií  $j$ -tém sloupci v jeho preferenčním uspořádání

Z výše uvedeného vztahu se k počtu kritérií přičte číslo 1, protože v případě, že je počet preferencí určitého kritéria nulový, byla by v případě nepřičtení tohoto čísla váha kritéria rovna nule. Vzhledem k požadavku vzájemného srovnatelnosti vah kritérií stanovených různými metodami, je třeba tyto váhy normovat, přičemž součet normovaných vah kritérií je roven nule. Normování vah se provádí dle níže uvedeného vztahu. [7]

$$v_j = \frac{k_j}{\sum_{j=1}^n k_j} \quad (3)$$

$k_j \dots$  nenormovaná váha kritéria  $j$ -tém sloupci [-]

$v_j \dots$  normovaná váha kritéria  $j$ -tém sloupci [-]

$n \dots$  počet kritérií

**Tabulka 4** představuje obecně zapsané průměrné hodnoty vah jednotlivých kritérií hodnocení vypočtené celkově za všechny hodnotitele.

Tabulka č.4 Příklad průměrných hodnot vah kritérií v obecném zápisu

	Cena	Pohodlí	Rychlost	Bezpečnost
Váhy kritérií	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$

Nyní jsou k dispozici všechny potřebné údaje a lze aplikovat metodu celkového užítku k nalezení nejlepšího objektu.

Postup řešení bude následující:

a) Transformace kritériální matice Y na normalizovanou U

Na základě bodového ohodnocení jednotlivých variant systémů podle zvolených kritérií v rozmezí 1 – 10 bodů, kdy hodnocení 1 je nejhorší a 10 nejlepší, přiřadíme variantám hodnotu užítku  $u_{ij}$  v rozmezí 0 až 1. Čím je toho číslo větší, tím více hodnotitel danou alternativu preferuje. **Tabulka 5** představuje transformovanou normalizovanou matici U, kdy se váhy jednotlivých kritérií podělily číslem 10. [7]

Tabulka č.5 Transformovaná normalizovaná matice U

	Cena	Pohodlí	Rychlost	Bezpečnost
EuroCity	$u_{11}$	$u_{12}$	$u_{13}$	$u_{14}$
InterCity	$u_{21}$	$u_{22}$	$u_{23}$	$u_{24}$
EuroNight	$u_{31}$	$u_{32}$	$u_{33}$	$u_{34}$
Expres	$u_{41}$	$u_{42}$	$u_{43}$	$u_{44}$

b) Výpočet celkového užítku varianty

Celkový užitek lze vypočítat s následujícího vztahu:

$$U(a_i) = \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \quad (4)$$

$U(a_i) \dots$  celkový užitek varianty v  $i$ -tém řádku [-]

$v_j \dots$  normovaná váha kritéria  $j$ -tém sloupci [-]

$u_{ij} \dots$  normovaný prvek v  $i$ -tém řádku a  $j$ -tém sloupci matice U [-]



Pomocí vztahu (4) lze spočítat celkový užitek varianty na základě znalosti vah kritérií a dílčích užiteků variant vzhledem k jednotlivým kritériím. Celkový užitek varianty pak stanovíme v souladu se vztahem (4), jako vážený součet těchto dílčích variant. Po provedení výpočtů jsou získány hodnoty celkových užiteků pro všechny varianty, kde variantu s nejvyšší hodnotou považujeme, jako nejlepší řešení.

Tabulka č.6 Celkový užitek variant

	$U(a_i)$
<i>EuroCity</i>	$a_1$
<i>InterCity</i>	$a_2$
<i>EuroNight</i>	$a_3$
<i>Expres</i>	$a_4$

### 3.4.2. Metoda WSA (Weighted Sum Approach)

Tato metoda vychází z principu maximalizace užitku variant váhami ohodnocených kritérií. V prvním kroku řešení za pomoci této metody vytvoříme normalizovanou kritériální matici  $R = (r_{ij})$ , jejíž prvky získáme z kritériální matice  $Y = (y_{ij})$  znázorněné v tabulce 3, pomocí vztahu (5). Příklad normalizované kritériální matice v obecném tvaru je uveden v **tabulce 7**. Je však nutno brát ohled na možný požadavek mít všechna kritéria v kritériální matici jako maximalizační. V tomto případě je nutno nejdříve provést přepočet kritériální matice, který se provede dle vztahu (7) a následně řešit normalizovanou kritériální matici.

$$r_{ij} = \frac{Y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad (5)$$

$r_{ij}$ ... normalizovaný prvek v  $i$ -tém řádku a  $j$ -té, sloupci matice  $R$

$y_{ij}$ ... prvek v  $i$ -tém řádku a  $j$ -tém sloupci matice  $Y$

$D_j$ ... bazální varianta  $j$ -tého prvku

$H_j$ ... ideální varianta  $j$ -tého prvku

Tabulka č.7 Normalizovaná kritériální matice v obecném zápisu

	<i>Cena</i>	<i>Pohodlí</i>	<i>Rychlost</i>	<i>Bezpečnost</i>
<i>EuroCity</i>	$r_{11}$	$r_{12}$	$r_{13}$	$r_{14}$
<i>InterCity</i>	$r_{21}$	$r_{22}$	$r_{23}$	$r_{24}$
<i>EuroNight</i>	$r_{31}$	$r_{32}$	$r_{33}$	$r_{34}$
<i>Expres</i>	$r_{41}$	$r_{42}$	$r_{43}$	$r_{44}$

Dále je proveden zápis ideální a bazální varianty výchozí kritériální matice, přičemž se z každého sloupce vybere číslo s nejvyšší a nejnížší hodnotou. Číslo s nejvyšší hodnotou představuje tzv. ideální variantu  $j$ -tého prvku  $H_j$  a číslo s nejnížší hodnotou představuje bazální variantu  $j$ -tého prvku  $D_j$ . [6]

Tabulka č.8 Obecný zápis ideální a bazální varianty výchozí kritériální matice

	Cena	Pohodlí	Rychlost	Bezpečnost
$H_j$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$
$D_j$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$

Vztah (5) se používá v případě, kdy kritérium v daném sloupci  $j$  je považováno za maximalizační. V opačném případě, kdy kritérium je minimalizační se použije vztah (6).

$$r_{ij} = \frac{H_j - Y_{ij}}{H_j - D_j} \quad (6)$$

$r_{ij}$ ... normalizovaný prvek v  $i$ -tém řádku a  $j$ -té, sloupci matice  $R$

$y_{ij}$ ... prvek v  $i$ -tém řádku a  $j$ -tém sloupci matice  $Y$

$D_j$ ... bazální varianta  $j$ -tého prvku

$H_j$ ... ideální variant  $j$ -tého prvku

Jestliže chceme mít všechna kritéria v kritériální matici jako maximalizační, přepočteme prvky v takovém sloupci podle níže uvedeného vztahu. Kde z každého sloupce vezmeme nejvyšší číslo a odečítáme od něj ostatní čísla v daném sloupci. Výsledkem je tzv. výchozí kritériální matice znázorněná v **tabulce 9**.

$$Y_{ij-max} = H_{j-min} - Y_{ij-min}, \quad i=1,2,...,p \quad (7)$$

Tabulka č.9 Přepočet kritérií v obecném zápisu

	Cena	Pohodlí	Rychlost	Bezpečnost
<i>EuroCity</i>	$Y_{11-max}$	$Y_{12-max}$	$Y_{13-max}$	$Y_{14-max}$
<i>InterCity</i>	$Y_{21-max}$	$Y_{22-max}$	$Y_{23-max}$	$Y_{24-max}$
<i>EuroNight</i>	$Y_{31-max}$	$Y_{32-max}$	$Y_{33-max}$	$Y_{34-max}$
<i>Expres</i>	$Y_{41-max}$	$Y_{42-max}$	$Y_{43-max}$	$Y_{44-max}$

V posledním kroku se vypočtou hodnoty váženého užitku varianty v  $i$ -tém řádku podle následujícího vztahu (8). Nejvyšší hodnota váženého užitku představuje nejlepší řešení. [6]

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} \quad (8)$$

$u(a_i)$  ... užitek varianty v  $i$ -tém řádku [-]

$v_j$  ... normovaná váha kritéria  $j$ -tém sloupci [-]

$r_{ij}$  ... normovaný prvek v  $i$ -tém řádku a  $j$ -tém sloupci matice  $R$

Dosažením hodnot do vztahu (8) z **tabulek 4 a 7** vypočteme maximální hodnoty užitek pro jednotlivé varianty. Varianta s největší hodnotou  $a_i$  je považována za nejlepší výsledek.



Tabulka č.10 Vážený užitek variant

	$u(a_i)$
<i>EuroCity</i>	$a_1$
<i>InterCity</i>	$a_2$
<i>EuroNight</i>	$a_3$
<i>Expres</i>	$a_4$

## 4. Výpočtová část

Tato část práce je zaměřena na aplikaci multikriteriálních metod za účelem vypočtení celkových užiteků pro jednotlivé varianty. Na základě těchto výsledků budou zvolena dvě vozidla, tj. kolový nakladač a pásové rypadlo. Tyto vybraná vozidla budou dále porovnávána opět dle multikriteriální analýzy s vozidly, která jsou určena pro stavbu Sudoměřického tunelu. Pro výpočet budou aplikovány dvě metody. Pouze v druhé analýze, kde se již budou porovnávat dva kolové nakladače a dvě pásová rypadla, bude použit pouze jeden typ multikriteriální analýzy. Celkové vyhodnocení, tj. volba nejlepšího vozidla bude provedena v následující páté kapitole této práce.

Pro multikriteriální analýzu je zapotřebí mít vstupní údaje. Tyto údaje pochází z dotazníků, které byly vyplněny zaměstnanci OHL ŽS, a.s. Všechny dotazníky jsou obsaženy v **příloze 1**. Každá osoba hodnotila devět kritérií pro 14 vozidel. Tato kritéria byla vybrána na základě konzultace s technikem mechanizace společnosti, který má celkovou zodpovědnost za všechnu mechanizaci na divizi v Brně. Hodnocení je stanoveno v rozmezí 1 – 10 bodů. Celkový počet hodnotících osob bylo 11. Všem hodnotitelům byly poskytnuty komplexní informace o každém vozidle, přičemž každý z hodnotitelů je velmi dobře orientován v oblasti pracovních strojů. Část dotazníku je zobrazena v následujícím **obr. č. 9**.

1. Hodnotitel									
Dotazník k hodnocení kolového nakladače Caterpillar 950K									
	Výkon [kW]	Rozměry dxšxv [mm]	Základní vybavení vozidla	Max objem lžice [m <sup>3</sup> ]	Ovládání	Pořizovací cena [Kč]	Průměrná spotřeba [l/Mth]	Dodací lhůta [týden]	Dostupnost servisů
	172	8193x2784x2735	klimatizace lžice 3,3 m <sup>3</sup>	8	volant	6450000	12	8 - 10	Bratislava, Praha, Brno
Bodování (1 - 10)	9	7	8	9	8	6	10	8	9
Dotazník k hodnocení pásového rypadla Volvo ECR305C									
	Výkon [kW]	Rozměry dxšxv [mm]	Základní vybavení vozidla	Max objem lžice [m <sup>3</sup> ]	Max. hloubka hloubení [m]	Pořizovací cena [Kč]	Průměrná spotřeba [l/Mth]	Dodací lhůta [týden]	Dostupnost servisů
	143	9950x3340x3180	klimatizace signa. přetížení lopata 1,42 m <sup>3</sup>	1,95	7,6	5100000	14	10 - 12	Bratislava
Bodování (1 - 10)	8	7	9	8	10	6	7	4	3

Obr. č. 9 Fragment dotazníku

Dalším nutným prvkem pro započítání výpočtů je stanovení vah jednotlivých kritérií od každého z hodnotitelů. Hodnotitelé stanovili váhy kritérií, (princip jim byl vysvětlen, před samotným zahájením hodnocení) za pomoci metody párového srovnání. Řešení metody je znázorněno v **tabulce 11**. V podstatě se porovnává každé kritérium s každým, přičemž jestliže má pro hodnotitele větší váhu kritérium v řádku, zapíšeme do řádku číslo

1. A naopak pokud má pro hodnotitele větší váhu kritérium ve sloupci, zapíšeme do řádku číslo 0. Hodnotitelé provedli pouze základní porovnání kritérií mezi sebou. Ostatní výpočty provedl již autor této práce sám.

Tabulka č.11 Stanovení vah kritérií

Váhy kritérií pro kolové nakladače												
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	Počet preferencí	Pořadí preferencí	Váhy kritérií
$K_1$	X	1	1	0	1	1	1	0	1	2	8	0,044
$K_2$		X	1	0	0	1	1	0	0	5	3	0,156
$K_3$			X	0	0	1	1	1	1	5	4	0,133
$K_4$				X	0	1	1	1	1	1	9	0,022
$K_5$					X	1	1	1	0	2	7	0,067
$K_6$						X	0	0	0	8	1	0,200
$K_7$							X	0	0	7	2	0,178
$K_8$								X	1	3	6	0,089
$K_9$									X	4	5	0,111

Po provedení celkového srovnání je zapotřebí stanovit počet preferencí. Ten se určí tak, že v každém řádku sečteme počet nul s počtem jedniček ve sloupci pro dané kritérium. Takto postupujeme, až určíme počty preferencí pro všechna kritéria. Dále se stanoví pořadí preferencí, kde se určí pořadí od nejvyššího čísla po nejnižší, přičemž nejvyšší hodnotě přiřadíme pořadí 1. Na závěr se provede výpočet vah pro jednotlivá kritéria dle vztahů (2) a (3). Vypočtené váhy kritérií pro všechny hodnotitele jsou uvedeny v **příloze 2**.

Stanovení nenormovaných vah:

$$k_{1=n+1-p_1} = 9 + 1 - 8 = 2$$

$$k_{2=n+1-p_2} = 9 + 1 - 3 = 7$$

$$k_{3=n+1-p_3} = 9 + 1 - 4 = 6$$

$$k_{4=n+1-p_4} = 9 + 1 - 9 = 1$$

$$k_{5=n+1-p_5} = 9 + 1 - 7 = 3$$

$$k_{6=n+1-p_6} = 9 + 1 - 1 = 9$$

$$k_{7=n+1-p_7} = 9 + 1 - 2 = 8$$

$$k_{8=n+1-p_8} = 9 + 1 - 6 = 4$$

$$k_{9=n+1-p_9} = 9 + 1 - 5 = 5$$

Stanovení normovaných vah:

$$v_1 = \frac{k_1}{\sum_{j=1}^n k_j} = \frac{2}{45} = 0,044$$

$$v_2 = \frac{k_2}{\sum_{j=1}^n k_j} = \frac{7}{45} = \mathbf{0,156}$$

$$v_3 = \frac{k_3}{\sum_{j=1}^n k_j} = \frac{6}{45} = \mathbf{0,133}$$

$$v_4 = \frac{k_4}{\sum_{j=1}^n k_j} = \frac{1}{45} = \mathbf{0,022}$$

$$v_5 = \frac{k_5}{\sum_{j=1}^n k_j} = \frac{3}{45} = \mathbf{0,067}$$

$$v_6 = \frac{k_6}{\sum_{j=1}^n k_j} = \frac{9}{45} = \mathbf{0,2}$$

$$v_7 = \frac{k_7}{\sum_{j=1}^n k_j} = \frac{8}{45} = \mathbf{0,178}$$

$$v_8 = \frac{k_8}{\sum_{j=1}^n k_j} = \frac{4}{45} = \mathbf{0,089}$$

$$v_9 = \frac{k_9}{\sum_{j=1}^n k_j} = \frac{5}{45} = \mathbf{0,111}$$

Stejným způsobem byl proveden výpočet vah kritérií ze všech dotazníků. Nyní jsou k dispozici všechny údaje pro aplikaci multikritériálních metod.

#### 4.1. Výpočet celkových užitek variant pro kolové nakladače dle metody celkového užitku

Před započítáním výpočtu byly z dotazníků hodnocení vah kritérií pro jednotlivé varianty sestaveny kritériální matice. Příklad kritériální matice je znázorněn v **tabulce 12**.

Tabulka č.12 Kritériální matice

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	9	7	8	8	8	6	10	8	9
$a_2$	9	7	9	9	8	6	9	8	9
$a_3$	10	7	10	10	10	5	8	8	9
$a_4$	7	9	8	7	8	9	8	9	5
$a_5$	8	7	8	7	8	9	8	9	5
$a_6$	9	7	9	8	8	5	8	4	3
$a_7$	9	7	8	10	8	7	7	9	3

Písmena  $f_1$ -  $f_9$  v kritériální matici představují označení jednotlivých druhů zvolených kritérií. A písmena  $a_1$  -  $a_7$  představují jednotlivé varianty, které hodnotitelé bodovali v rozmezí 1-10 bodů. V podstatě tato kritériální matice představuje hodnocení

variant od jednoho hodnotitele. Pro lepší pochopení označení kritériální matice je vhodné nahlédnout do **přílohy 1**, kde jsou uvedeny všechny dotazníky. V dalším kroku je provedena transformace kritériální matice, znázorněná v **tabulce 13**.

Tabulka č.13 Transformovaná normalizovaná matice  $U$

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,6	1	0,8	0,9
$a_2$	0,9	0,7	0,9	0,9	0,8	0,6	0,9	0,8	0,9
$a_3$	1	0,7	1	1	1	0,5	0,8	0,8	0,9
$a_4$	0,7	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	0,5
$a_5$	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	0,5
$a_6$	0,9	0,7	0,9	0,8	0,8	0,5	0,8	0,4	0,3
$a_7$	0,9	0,7	0,8	1	0,8	0,7	0,7	0,9	0,3

Nyní je proveden výpočet celkových užiteků pro všechny varianty. Pro výpočet je aplikován vztah (4).

$$\begin{aligned}
 U(a_1) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,9 \cdot 0,044 + 0,7 \cdot 0,156 + 0,8 \cdot 0,133 + 0,8 \cdot 0,022 + 0,8 \cdot 0,067 \\
 &\quad + 0,6 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,178 + 0,8 \cdot 0,089 + 0,9 \cdot 0,111 = \mathbf{0,796}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(a_2) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,9 \cdot 0,044 + 0,7 \cdot 0,156 + 0,9 \cdot 0,133 + 0,9 \cdot 0,022 + 0,8 \cdot 0,067 \\
 &\quad + 0,6 \cdot 0,2 + 0,9 \cdot 0,178 + 0,8 \cdot 0,089 + 0,9 \cdot 0,111 = \mathbf{0,793}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(a_3) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 1 \cdot 0,044 + 0,7 \cdot 0,156 + 1 \cdot 0,133 + 1 \cdot 0,022 + 1 \cdot 0,067 + 0,5 \\
 &\quad \cdot 0,2 + 0,8 \cdot 0,178 + 0,8 \cdot 0,089 + 0,9 \cdot 0,111 = \mathbf{0,789}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(a_4) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,7 \cdot 0,044 + 0,9 \cdot 0,156 + 0,8 \cdot 0,133 + 0,7 \cdot 0,022 + 0,8 \cdot 0,067 \\
 &\quad + 0,9 \cdot 0,2 + 0,8 \cdot 0,178 + 0,9 \cdot 0,089 + 0,5 \cdot 0,111 = \mathbf{0,804}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(a_5) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,8 \cdot 0,044 + 0,7 \cdot 0,156 + 0,8 \cdot 0,133 + 0,7 \cdot 0,022 + 0,8 \cdot 0,067 \\
 &\quad + 0,9 \cdot 0,2 + 0,8 \cdot 0,178 + 0,9 \cdot 0,089 + 0,5 \cdot 0,111 = \mathbf{0,778}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(a_6) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,9 \cdot 0,044 + 0,7 \cdot 0,156 + 0,9 \cdot 0,133 + 0,8 \cdot 0,022 + 0,8 \cdot 0,067 \\
 &\quad + 0,5 \cdot 0,2 + 0,8 \cdot 0,178 + 0,4 \cdot 0,089 + 0,4 \cdot 0,111 = \mathbf{0,651} \\
 U(a_7) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,9 \cdot 0,044 + 0,7 \cdot 0,156 + 0,8 \cdot 0,133 + 1 \cdot 0,022 + 0,8 \cdot 0,067 \\
 &\quad + 0,7 \cdot 0,2 + 0,7 \cdot 0,178 + 0,9 \cdot 0,089 + 0,3 \cdot 0,111 = \mathbf{0,709}
 \end{aligned}$$

Výše uvedené výpočty představují celkový užitek jednotlivých variant od jednoho hodnotitele. Z výše uvedených výsledků je zřejmé, že první hodnotitel preferuje koupi varianty  $a_4$  tj. kolový nakladač New Holland w190c, jelikož hodnota celkového užitku je zde nejvyšší. Nicméně hodnotitelů bylo 11 a je nutností brát ohled na názor každého z nich. Stejným způsobem jsou provedeny výpočty celkových užiteků pro jednotlivé varianty ode všech hodnotitelů, uvedeno v **příloze 4**. Vyhodnocení je popsáno v 5. kapitole.

#### 4.2. Výpočet celkových užiteků variant pro kolové nakladače dle metody váženého součtu

Stejně jako u předchozí metody jsou základní vstupní data pro řešení touto metodou vyplněné dotazníky a stanovené váhy jednotlivých kritérií hodnotiteli. Základem je opět kritériální matice sestavená z dotazníku, znázorněná **tabulkou 14**.

Tabulka č.14 Kritériální matice

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	9	7	8	8	8	6	10	8	9
$a_2$	9	7	9	9	8	6	9	8	9
$a_3$	10	7	10	10	10	5	8	8	9
$a_4$	7	9	8	7	8	9	8	9	5
$a_5$	8	7	8	7	8	9	8	9	5
$a_6$	9	7	9	8	8	5	8	4	3
$a_7$	9	7	8	10	8	7	7	9	3

V první fázi je zapotřebí zohlednit, která kritéria v matici jsou minimalizační a která maximalizační. Následně minimalizační kritéria převést na maximalizační. V našem případě, jako minimalizační kritéria jsou ty, u kterých požadujeme, aby jejich hodnota byla



co nejnižší. Jedná se tedy o rozměry vozidla, pořizovací cena, průměrná spotřeba a dodací lhůta tj. sloupce  $f_2, f_6, f_7$  a  $f_8$ . Přepočítání kritérií na maximalizační bude tedy následující.

$$Y_{12-max} = H_{2-min} - Y_{12-min}, = 9 - 7 = 2$$

$$Y_{22-max} = H_{2-min} - Y_{22-min}, = 9 - 7 = 2$$

$$Y_{32-max} = H_{2-min} - Y_{32-min}, = 9 - 7 = 2$$

$$Y_{42-max} = H_{2-min} - Y_{42-min}, = 9 - 9 = 0$$

$$Y_{52-max} = H_{2-min} - Y_{52-min}, = 9 - 7 = 2$$

$$Y_{62-max} = H_{2-min} - Y_{62-min}, = 9 - 7 = 2$$

$$Y_{72-max} = H_{2-min} - Y_{72-min}, = 9 - 7 = 2$$

Zde je uveden pouze příklad přepočtu na maximalizační kritéria pro druhý sloupec. Přepočty pro ostatní sloupce a další varianty jsou shodné. Následující **tabulka 15** představuje kritériální matici, kde jsou všechny kritéria maximalizační.

Tabulka č.15 Kritériální matice s maximalizačními kritérii

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	9	2	8	8	8	3	0	1	9
$a_2$	9	2	9	9	8	3	1	1	9
$a_3$	10	2	10	10	10	4	2	1	9
$a_4$	7	0	8	7	8	0	2	0	5
$a_5$	8	2	8	7	8	0	2	0	5
$a_6$	9	2	9	8	8	4	2	5	3
$a_7$	9	0	8	10	8	2	3	0	3

Před započítáním výpočtu normalizované kritériální matice je nutné vybrat z každého sloupce matice, prvky  $D_j$  a  $H_j$ . První prvek představuje nejvyšší hodnotu váhy kritéria v daném sloupci a druhý naopak nejnižší. Jedná se o tzv. bazální a ideální variantu daného sloupce. Tyto hodnoty jsou znázorněny v **tabulce 16**.

Tabulka č.16 Bazální a ideální varianty pro daný sloupec

$H_j$	10	2	10	10	10	4	3	5	9
$D_j$	7	0	8	7	8	0	0	0	3

Nyní je použit vztah (5) pro výpočet normalizované kritériální matice. V případě minimalizačních kritérií tj. sloupců  $f_2, f_6, f_7$  a  $f_8$ , je zapotřebí pro výpočet použít vztah (6).

$$r_{11} = \frac{Y_{11} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{9 - 7}{10 - 7} = \mathbf{0,667}$$

$$r_{21} = \frac{Y_{21} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{9 - 7}{10 - 7} = \mathbf{0,667}$$

$$r_{31} = \frac{Y_{31} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{10 - 7}{10 - 7} = \mathbf{1}$$

$$r_{41} = \frac{Y_{41} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{7 - 7}{10 - 7} = \mathbf{0}$$

$$r_{51} = \frac{Y_{51} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{8 - 7}{10 - 7} = \mathbf{0,333}$$

$$r_{61} = \frac{Y_{61} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{9 - 7}{10 - 7} = \mathbf{0,667}$$

$$r_{71} = \frac{Y_{71} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{9 - 7}{10 - 7} = \mathbf{0,667}$$

Výše jsou uvedeny výpočty pro normalizovanou kritériální matici pro první sloupec. Stejným způsobem jsou provedeny výpočty pro ostatní sloupce, jen v případě minimalizačních kritérií je použit jiný vztah. Výsledkem je normalizovaná kritériální matice uvedena v **tabulce 17**.

*Tabulka č.17 Normalizovaná kritériální matice*

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	0,67	0	0	0,33	0	0,25	1	0,8	1
$a_2$	0,67	0	0,5	0,67	0	0,25	0,67	0,2	1
$a_3$	1	0	1	1	1	0	0,33	0,2	1
$a_4$	0	1	0	0	0	1	0,33	0	0,33
$a_5$	0,33	0	0	0	0	1	0,33	0	0,33
$a_6$	0,67	0	0,5	0,33	0	0	0,33	1	0
$a_7$	0,67	0	0	1	0	0,5	0	0	0

V posledním kroku je použit vztah (8) pro výpočet vážených užitek pro jednotlivé varianty. Tak jako v předchozím případě při použití metody celkového užitku, jsou níže vypočteny vážené užity pro jednotlivé varianty od jednoho hodnotitele. Váhy kritérií, které stanovili hodnotitelé, jsou zde pro výpočet použity stejné, jakož pro výpočet metody celkového užitku.

$$u(a_1) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,044 \cdot 0,667 + 0,156 \cdot 0 + 0,133 \cdot 0 + 0,022 \cdot 0,333 + 0,067 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,25 + 0,178 \cdot 1 + 0,089 \cdot 0,8 + 0,111 \cdot 1 = \mathbf{0,447}$$

$$u(a_2) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,044 \cdot 0,667 + 0,156 \cdot 0 + 0,133 \cdot 0,5 + 0,022 \cdot 0,667 + 0,067 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,25 + 0,178 \cdot 0,667 + 0,089 \cdot 0,2 + 0,111 \cdot 1 = \mathbf{0,409}$$

$$u(a_3) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,044 \cdot 1 + 0,156 \cdot 0 + 0,133 \cdot 1 + 0,022 \cdot 1 + 0,067 \cdot 1 + 0,2 \cdot 1 + 0,178 \cdot 0,333 + 0,089 \cdot 0,2 + 0,111 \cdot 1 = \mathbf{0,455}$$

$$u(a_4) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,044 \cdot 0 + 0,156 \cdot 1 + 0,133 \cdot 0 + 0,022 \cdot 0 + 0,067 \cdot 0 + 0,2 \cdot 1 + 0,178 \cdot 0,333 + 0,089 \cdot 0 + 0,111 \cdot 0,333 = \mathbf{0,459}$$

$$u(a_5) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,044 \cdot 0,333 + 0,156 \cdot 0 + 0,133 \cdot 0 + 0,022 \cdot 0 + 0,067 \cdot 0 + 0,2 \cdot 1 + 0,178 \cdot 0,333 + 0,089 \cdot 0 + 0,111 \cdot 0,333 = \mathbf{0,311}$$

$$u(a_6) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,044 \cdot 0,667 + 0,156 \cdot 0 + 0,133 \cdot 0,5 + 0,022 \cdot 0,333 + 0,067 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0 + 0,178 \cdot 0,333 + 0,089 \cdot 1 + 0,111 \cdot 0 = \mathbf{0,252}$$

$$u(a_7) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,044 \cdot 0,667 + 0,156 \cdot 0 + 0,133 \cdot 0 + 0,022 \cdot 1 + 0,067 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,5 + 0,178 \cdot 0 + 0,089 \cdot 0 + 0,111 \cdot 0 = \mathbf{0,152}$$

Z výše uvedených vzorců a následných výsledků je patrné, že stejně jako u předchozí metody, varianta  $a_4$  dosáhla nejvyšší hodnoty váženého užitku. Nicméně opět je zapotřebí brát ohled na hodnocení všech hodnotitelů. Všechny dosažené výsledky dle metody váženého součtu jsou uvedeny v **příloze 3**.

#### 4.3. Výpočet celkových užitek variant pro pásová rypadla dle metody celkového užitku

Postup řešení je naprosto stejný, jako u kolových nakladačů. Jelikož u pásových rypadel přibýlo nové kritérium a to, maximální hloubka hloubení a kritérium objem lžíce, které není u tohoto typu vozidla na takové úrovni důležitosti, stanovili hodnotitelé váhy

kritérií zvlášť, pro tento typ vozidel. Postup stanovení je naprosto stejný, jakož u předchozích typů vozidel. Stanovené váhy kritérií od prvního hodnotitele jsou uvedeny v **tabulce 19**.

*Tabulka č.18 Váhy kritérií stanovené první hodnotitelem*

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$
$v_j$	0,089	0,178	0,156	0,044	0,022	0,200	0,133	0,067	0,111

Opět pro aplikaci této multikriteriální metody je zapotřebí mít k dispozici kritériální matici sestavenou z vyplněného dotazníku hodnotitelem a již zmíněné váhy kritérií. Kritériální matice představuje **tabulka 19**.

*Tabulka č.19 Kritériální matice*

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	6	10	8	8	8	4	7	9	5
$a_2$	6	8	8	9	8	9	9	4	3
$a_3$	6	7	8	8	8	8	8	7	10
$a_4$	5	7	9	8	7	7	7	7	10
$a_5$	8	7	9	10	8	8	7	7	10
$a_6$	10	6	8	8	9	7	7	4	3
$a_7$	8	7	9	8	10	6	7	4	4

Označení matice je stejné, jako v předchozí úloze. Nyní je provedena transformace, kdy se každé číslo v matici podělí číslem 10. Transformovaná matice je uvedena v následující **tabulce 20**. Nyní je aplikován vztah (4) a vypočteny celkové užítky variant od prvního hodnotitele.

*Tabulka č.20 Transformovaná matice*

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	0,6	1	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,9	0,5
$a_2$	0,6	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,4	0,3
$a_3$	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	1
$a_4$	0,5	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	1
$a_5$	0,8	0,7	0,9	1	0,8	0,8	0,7	0,7	1
$a_6$	1	0,6	0,8	0,8	0,9	0,7	0,7	0,4	0,3
$a_7$	0,8	0,7	0,9	0,8	1	0,6	0,7	0,4	0,4

$$\begin{aligned}
 (a_1) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,6 \cdot 0,089 + 1 \cdot 0,178 + 0,8 \cdot 0,156 + 0,8 \cdot 0,044 + 0,8 \cdot 0,022 \\
 &\quad + 0,4 \cdot 0,2 + 0,7 \cdot 0,133 + 0,9 \cdot 0,067 + 0,5 \cdot 0,111 = \mathbf{0,662}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (a_2) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,6 \cdot 0,089 + 0,8 \cdot 0,178 + 0,8 \cdot 0,156 + 0,9 \cdot 0,044 + 0,8 \cdot 0,022 \\
 &\quad + 0,9 \cdot 0,2 + 0,9 \cdot 0,133 + 0,4 \cdot 0,067 + 0,3 \cdot 0,111 = \mathbf{0,698}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (a_3) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,6 \cdot 0,089 + 0,7 \cdot 0,178 + 0,8 \cdot 0,156 + 0,8 \cdot 0,044 + 0,8 \cdot 0,022 \\
 &\quad + 0,8 \cdot 0,2 + 0,8 \cdot 0,133 + 0,7 \cdot 0,067 + 1 \cdot 0,111 = \mathbf{0,744}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (a_4) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,5 \cdot 0,089 + 0,7 \cdot 0,178 + 0,9 \cdot 0,156 + 0,8 \cdot 0,044 + 0,7 \cdot 0,022 \\
 &\quad + 0,7 \cdot 0,2 + 0,7 \cdot 0,133 + 0,7 \cdot 0,067 + 1 \cdot 0,111 = \mathbf{0,716}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (a_5) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,8 \cdot 0,089 + 0,7 \cdot 0,178 + 0,9 \cdot 0,156 + 1 \cdot 0,044 + 0,8 \cdot 0,022 \\
 &\quad + 0,8 \cdot 0,2 + 0,7 \cdot 0,133 + 0,7 \cdot 0,067 + 1 \cdot 0,111 = \mathbf{0,764}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (a_6) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 1 \cdot 0,089 + 0,6 \cdot 0,178 + 0,8 \cdot 0,156 + 0,8 \cdot 0,044 + 0,9 \cdot 0,022 \\
 &\quad + 0,7 \cdot 0,2 + 0,7 \cdot 0,133 + 0,4 \cdot 0,067 + 0,3 \cdot 0,111 = \mathbf{0,633}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (a_7) &= \sum_{j=1}^n u_{ij} \cdot v_j \\
 &= 0,8 \cdot 0,089 + 0,7 \cdot 0,178 + 0,9 \cdot 0,156 + 0,8 \cdot 0,044 + 1 \cdot 0,022 \\
 &\quad + 0,6 \cdot 0,2 + 0,7 \cdot 0,133 + 0,4 \cdot 0,067 + 0,4 \cdot 0,111 = \mathbf{0,642}
 \end{aligned}$$

Z výše uvedených výpočtů je zřejmé, že první hodnotitel preferuje variantu  $a_5$ , tj. pásové rypadlo Caterpillar 323D LN. Vozidlo disponuje vysokým výkonem, menšími rozměry, nižší pořizovací cenou a především široké zastoupení, co se týče dostupnosti smluvených servisů. Opět se jedná pouze o názor od jednoho z hodnotitelů, který preferuje právě toto vozidlo. Komplexní vyhodnocení je uvedeno v kapitole 5. Vypočtené celkové užítky variant, ode všech hodnotitelů jsou uvedeny v **příloze 4**.

#### 4.4. Výpočet celkových užitek variant pro pásová rypadla dle metody váženého součtu

Opět postup řešení bude naprosto stejný, jako u kolových nakladačů. Pouze jsou zde použita jiná vstupní data. Pro započetí výpočtu je nutné nejdříve sestavit kritériální matici, z vyplněného dotazníku, znázorněna v **tabulce 21**. Stejně jako v předchozích případech, jsou zde použita data z prvního dotazníku a dále proveden výpočet celkových užitek variant. Jelikož komplexní výpočty jsou rozsáhlé, uvedené výpočty u aplikovaných multikritériálních metod slouží především pro vysvětlení postupů výpočtů na konkrétním příkladě a zbývající výpočty jsou provedeny pomocí software. Dosažené výsledky vážených součtů pro jednotlivé varianty pro všechny hodnotitele jsou uvedeny v přílohách. Hodnoty celkových užitek pro pásová rypadla, dle metody váženého součtu jsou uvedeny v **příloze 3**.

Tabulka č.21 Kritériální matice

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	6	10	8	8	8	4	7	9	5
$a_2$	6	8	8	9	8	9	9	4	3
$a_3$	6	7	8	8	8	8	8	7	10
$a_4$	5	7	9	8	7	7	7	7	10
$a_5$	8	7	9	10	8	8	7	7	10
$a_6$	10	6	8	8	9	7	7	4	3
$a_7$	8	7	9	8	10	6	7	4	4

V dalším kroku je opět proveden přepočít minimalizačních kritérií na maximalizační dle vztahu (7). Tak jako v předchozím případě za minimalizační kritéria považují kritéria ve sloupcích  $f_2$ ,  $f_6$ ,  $f_7$  a  $f_8$ . Níže uvedené výpočty uvádí přepočít pouze sloupce  $f_2$ . Stejným způsobem jsou provedeny přepočty ostatních sloupců. Výsledkem je kritériální matice s maximalizačními kritérii, znázorněna v **tabulce 22**.

$$Y_{12-max} = H_{2-min} - Y_{12-min}, = 10 - 10 = 0$$

$$Y_{22-max} = H_{2-min} - Y_{22-min}, = 10 - 8 = 2$$

$$Y_{32-max} = H_{2-min} - Y_{32-min}, = 10 - 7 = 3$$

$$Y_{42-max} = H_{2-min} - Y_{42-min}, = 10 - 7 = 3$$

$$Y_{52-max} = H_{2-min} - Y_{52-min}, = 10 - 7 = 3$$

$$Y_{62-max} = H_{2-min} - Y_{62-min}, = 10 - 6 = 4$$

$$Y_{72-max} = H_{2-min} - Y_{72-min}, = 10 - 7 = 3$$

Tabulka č.22 Kriteriační matice s maximalizačními kritérii

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	6	0	8	8	8	5	2	0	5
$a_2$	6	2	8	9	8	0	0	5	3
$a_3$	6	3	8	8	8	1	1	2	9
$a_4$	5	3	9	8	7	2	2	2	9
$a_5$	8	3	9	10	8	1	2	2	9
$a_6$	10	4	8	8	9	2	2	5	3
$a_7$	8	3	9	8	10	3	2	5	4

Dále je proveden výběr bazální a ideální varianty pro daný sloupec tj.  $D_j$  a  $H_j$ .  
Výběr těchto variant je uveden v **tabulce 23**.

Tabulka č.23 Bazální a ideální varianty pro daný sloupec

$H_j$	10	4	9	10	10	5	2	5	9
$D_j$	5	0	8	8	7	0	0	0	3

V následujícím kroku je proveden výpočet normalizované kriteriační matice, který je uveden v **tabulce 23**. Pro výpočet byl v předchozím příkladě použit vztah (5), který byl aplikován pro výpočet ve sloupcích, kde byla maximalizační kritéria, tj. sloupce  $f_1, f_3, f_4, f_5$  a  $f_9$ . Pro názorný ukázkový příklad, je zde proveden výpočet pro sloupec  $f_2$ , kde byla kritéria minimalizační, proto je nutno zde aplikovat vztah (6). Stejný vztah je použit pro výpočet ve zbývajících sloupcích, tj. sloupcích  $f_6, f_7$  a  $f_8$ .

$$r_{12} = \frac{H_2 - Y_{12}}{H_2 - D_2} = \frac{4 - 0}{4 - 0} = 1$$

$$r_{22} = \frac{H_2 - Y_{22}}{H_2 - D_2} = \frac{4 - 2}{4 - 0} = 0,5$$

$$r_{32} = \frac{H_2 - Y_{32}}{H_2 - D_2} = \frac{4 - 3}{4 - 0} = 0,25$$

$$r_{42} = \frac{H_2 - Y_{42}}{H_2 - D_2} = \frac{4 - 3}{4 - 0} = 0,25$$

$$r_{52} = \frac{H_2 - Y_{52}}{H_2 - D_2} = \frac{4 - 3}{4 - 0} = 0,25$$

$$r_{62} = \frac{H_2 - Y_{62}}{H_2 - D_2} = \frac{4 - 4}{4 - 0} = 0$$

$$r_{72} = \frac{H_2 - Y_{72}}{H_2 - D_2} = \frac{4 - 3}{4 - 0} = 0,25$$

Tabulka č.24 Normalizovaná kritériální matice

	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
$a_1$	0,2	1	0	0	0,33	0	0	1	0,33
$a_2$	0,2	0,5	0	0,5	0,33	1	1	0	0
$a_3$	0,2	0,25	0	0	0,33	0,8	0,5	0,6	1
$a_4$	0	0,25	1	0	0	0,6	0	0,6	1
$a_5$	0,6	0,25	1	1	0,33	0,8	0	0,6	1
$a_6$	1	0	0	0	0,67	0,6	0	0	0
$a_7$	0,6	0,25	1	0	1	0,4	0	0	0,17

Použitím vztahu (8), normalizované kritériální matice a vah kritérií stanovených hodnotitelem jsou níže vypočteny vážené celkové užitky pro jednotlivé varianty. Pro výpočet jsou použity stejné váhy kritérií, uvedeny v **tabulce 18**.

$$u(a_1) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,089 \cdot 0,2 + 0,178 \cdot 1 + 0,156 \cdot 0 + 0,044 \cdot 0 + 0,022 \cdot 0,333 + 0,2 \cdot 0 + 0,133 \cdot 0 + 0,067 \cdot 1 + 0,111 \cdot 0,333 = \mathbf{0,307}$$

$$u(a_2) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,089 \cdot 0,2 + 0,178 \cdot 0,5 + 0,156 \cdot 0 + 0,044 \cdot 0,5 + 0,022 \cdot 0,333 + 0,2 \cdot 1 + 0,133 \cdot 1 + 0,067 \cdot 0 + 0,111 \cdot 0 = \mathbf{0,47}$$

$$u(a_3) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,089 \cdot 0,2 + 0,178 \cdot 0,25 + 0,156 \cdot 0 + 0,044 \cdot 0 + 0,333 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,08 + 0,133 \cdot 0,5 + 0,067 \cdot 0,6 + 0,111 \cdot 1 = \mathbf{0,447}$$



$$u(a_4) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,089 \cdot 0 + 0,178 \cdot 0,25 + 0,156 \cdot 1 + 0,044 \cdot 0 + 0,022 \cdot 0 + 0,2 \cdot 0,6 + 0,133 \cdot 0 + 0,067 \cdot 0,6 + 0,111 \cdot 0,1 = \mathbf{0,471}$$

$$u(a_5) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,089 \cdot 0,6 + 0,178 \cdot 0,25 + 0,156 \cdot 1 + 0,044 \cdot 1 + 0,022 \cdot 0,333 + 0,2 \cdot 0,8 + 0,133 \cdot 0 + 0,067 \cdot 0,6 + 0,111 \cdot 1 = \mathbf{0,616}$$

$$u(a_6) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,089 \cdot 1 + 0,178 \cdot 0 + 0,156 \cdot 0 + 0,044 \cdot 0 + 0,022 \cdot 0,667 + 0,2 \cdot 0,6 + 0,133 \cdot 0 + 0,067 \cdot 0 + 0,111 \cdot 0 = \mathbf{0,616}$$

$$u(a_7) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij} = 0,089 \cdot 0,6 + 0,178 \cdot 0,25 + 0,156 \cdot 1 + 0,044 \cdot 0 + 0,022 \cdot 1 + 0,2 \cdot 0,4 + 0,133 \cdot 0 + 0,067 \cdot 0 + 0,111 \cdot 0,167 = \mathbf{0,374}$$

Po porovnání výše vypočtených hodnot celkových užitek variant metodou váženého součtu s hodnotami vypočtených metodou celkového užtku, je zřejmé, že hodnotitel opět preferuje variantu  $a_5$ . Celkové pořadí užitek variant je téměř shodné. V některých případech ze všech výpočtů, uvedených v přílohách se liší pouze o jednu, případně dvě příčky. Nicméně tyto rozdíly jsou zanedbatelné. Aby bylo možno bez pochybností se rozhodnout pro konkrétní typ vozidla, je zapotřebí znát hodnoty celkových užitek pro všechny varianty ode všech hodnotitelů. Na základě těchto dat lze vyhodnotit, která varianta je nejlepší.

## 5. Vyhodnocení a výběr silničního vozidla

V této části práce jsou vyhodnoceny všechny doposud vypočtené výsledky, na základě kterých jsou vybrána dvě vozidla, tj. kolový nakladač a pásové rypadlo.

Na úvod této kapitoly je vhodné provést celkové shrnutí doposud dosažených výsledků.

Na počátku této práce bylo k dispozici 11 dotazníků, které obsahují nejdůležitější kritéria, dle kterých se provádí výběr vozidel. Tato kritéria obodovali zaměstnanci společnosti OHL ŽS, a.s. v rozmezí 1 – 10 bodů. Dále stanovili váhy jednotlivých kritérií, podle jejich důležitosti. Z těch dat bylo následně možno za pomoci multikriteriálních metod spočítat celkové užitky všech variant, dle kterých lze určit nejlepší řešení. Jelikož se jedná o poměrně rozsáhlé výpočty, byly aplikovány dvě metody, aby se předešlo možnému omylu ve výpočtech. Oběma metodami by se mělo dosáhnout stejných, případně podobných výsledků pořadí variant. Jestliže tomu tak není, nastala ve výpočtu chyba.

V druhé fázi této práce jsou opět sestaveny dotazníky, v nichž jsou uvedeny dvě vybraná vozidla a vozidla předurčena na stavbu Sudoměřického tunelu. Jedná se tedy o porovnání dvou kolových nakladačů a dvou pásových rypadel. Hodnotitelé opět obodovali kritéria v dotaznících v rozmezí 1-10. Následně je pro porovnání těchto čtyř vozidel použita pouze metoda celkového užitku. Aplikovat obě metody v tomto případě, je zbytečné. Konkrétní výběr vozidel a porovnání nově zvolených vozidel s předurčenými vozidly pro stavbu je interpretováno v následujících podkapitolách.

### 5.1. Vyhodnocení výsledků z aplikace multikriteriálních metod pro výběr kolového nakladače

Pro výběr vozidla jsou aplikovány dvě metody, tj. metoda celkového součtu a metoda celkového užitku. Při porovnání výsledků dosažených oběma metodami, je zřejmé, že pořadí variant u obou metod je v některých případech stejné, někde podobné. Liší se o jednu, maximálně dvě příčky. Proto lze považovat dosažené výsledky za správné. Při výběru konkrétního typu kolového nakladače, který v multikriteriální analýze byl nejčastěji vyhodnocen jako první v pořadí, je vycházeno z **příloh 3 a 4**. Zde jsou uvedeny všechny hodnoty vypočtených vážených užitků variant oběma metodami. Po zpracování vypočtených vážených užitků všech variant metodou váženého součtu, bylo dosaženo konečného pořadí, které je uvedeno v následující **tabulce 25**.

Tabulka č.25 Vyhodnocení výběru kolových nakladačů

	Pořadí kolových nakladačů							Výsledné pořadí
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
Caterpillar 950K	0	1	3	1	4	1	1	5
Caterpillar 962K	1	1	4	3	0	1	1	3
Caterpillar 966K	0	2	1	4	2	0	2	4
New Holland w190c	8	2	1	0	0	0	0	1
New Holland w230c	2	4	1	2	2	0	0	2
Liebherr L566	0	0	1	0	1	7	2	6
Volvo L110G	0	1	0	1	2	2	5	7

Princip určení pořadí je takový, že u každého vozidla je sledováno, kolikrát bylo vyhodnoceno pro dané pořadí. Následně je seřazena jejich četnost, kolikrát v daném pořadí byla zahrnuta, přičemž v každém pořadí je rozhodující nejvyšší hodnota. Pro lepší pochopení to lze vysvětlit na kolovém nakladači Caterpillar 950K. Lze tedy říci, že toto vozidlo je 0x vyhodnoceno jako první, 2x vyhodnoceno jako druhé, 3x vyhodnoceno jako čtvrté, 4x vyhodnoceno jako druhé atd. Stejným způsobem je sestavena celá výše uvedená tabulka. Závěrem lze říci, že za pomoci multikriteriální metody váženého součtu je jako nejlepší řešení koupit vozidlo New Holland w190c. Pro ověření správnosti řešení je v **tabulce 26** uvedeno vyhodnocení stejných vozidel metodou celkového užítu.

Tabulka č.26 Vyhodnocení výběru kolových nakladačů

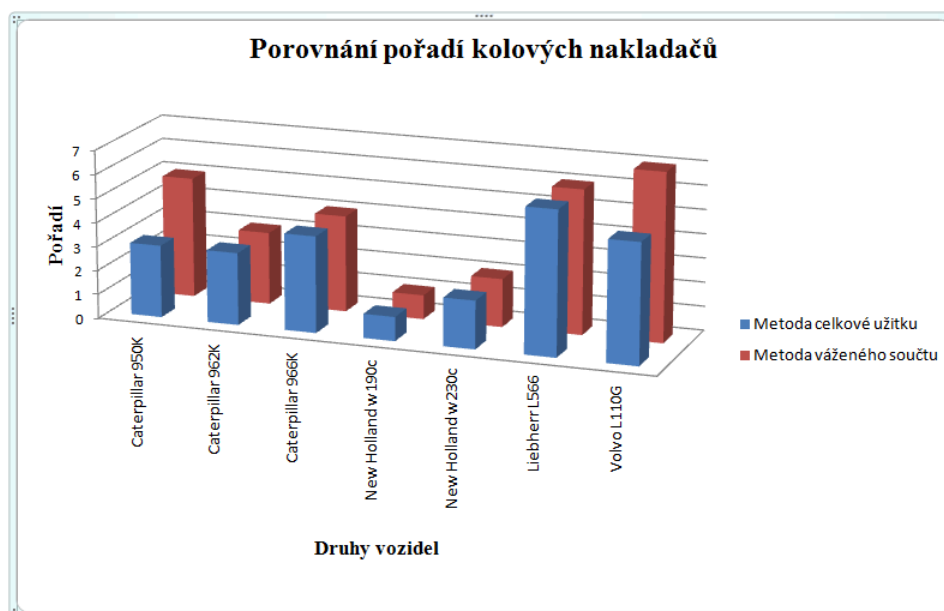
	Pořadí kolových nakladačů							Výsledné pořadí
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
Caterpillar 950K	0	2	4	2	3	0	0	3
Caterpillar 962K	0	2	4	1	2	2	0	3
Caterpillar 966K	2	0	0	5	3	0	1	4
New Holland w190c	7	2	1	0	0	1	0	1
New Holland w230c	2	5	1	1	1	1	0	2
Liebherr L566	0	0	1	0	1	1	8	6
Volvo L110G	0	0	0	2	1	6	2	5

Po porovnání dvou předchozích tabulek je zřejmé, že dosažené výsledky u obou metod jsou téměř stejné. S jistotou lze tedy říci, že ze sedmi kolových nakladačů, z kterých byl prováděn výběr, je nakladač New Holland w190c zvolen jako nejlepší varianta vozidla, do kterého investovat. Na **obr. č. 10** je znázorněn vybraný kolový nakladač. V grafu č.1 je uvedeno porovnání výsledných pořadí vozidel po aplikaci obou metod.



Obr. č. 10 New Holland w190c[4]

V níže uvedeném **grafu č.1** je znázorněno porovnání výsledných pořadí kolových nakladačů po aplikaci obou metod.



Graf č.2 Porovnání výběru kolových nakladačů

## 5.2. Vyhodnocení výsledků z aplikace multikriteriálních metod pro výběr pásového rypadla

Stejně jako u výběru kolového nakladače, jsou pro výběr pásového rypadla aplikovány dvě multikriteriální metody. Účelem bylo opět porovnat získané výsledky a přesvědčit se o jejich správnosti. Princip vyhodnocení získaných výsledků je stejný, jako v předchozím případě. V **tabulce 27** je uvedeno vyhodnocení výběru pásového rypadla dle multikriteriální metody celkového užítku.

Tabulka č.27 Vyhodnocení výběru pásových rypadel

	Pořadí pásových rypadel							Výsledné pořadí
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
<i>Terex TE210</i>	0	0	0	0	3	0	8	7
<i>Liebherr R900</i>	1	5	3	2	0	0	0	2
<i>Caterpillar 323E L</i>	5	2	4	0	0	0	0	1
<i>Caterpillar 324D LN</i>	0	1	1	3	4	2	0	5
<i>Caterpillar 323D LN</i>	5	3	3	0	0	0	0	1
<i>Volvo EC250D</i>	0	0	0	5	2	4	0	4
<i>Volvo ECR305C</i>	0	0	0	1	2	5	3	6

Z uvedené tabulky vyplývá, že o první příčku se dělí dvě vozidla. Nicméně vybrat lze pouze jedno. Což je druhý důvod, proč byly aplikovány dvě multikriteriální metody. Na základě druhé metody bude rozhodnuto, které z vozidel se vybere. Vyhodnocení výběru dle metody váženého součtu je uvedeno v **tabulce 28**.

Tabulka č.28 Vyhodnocení výběru pásových rypadel

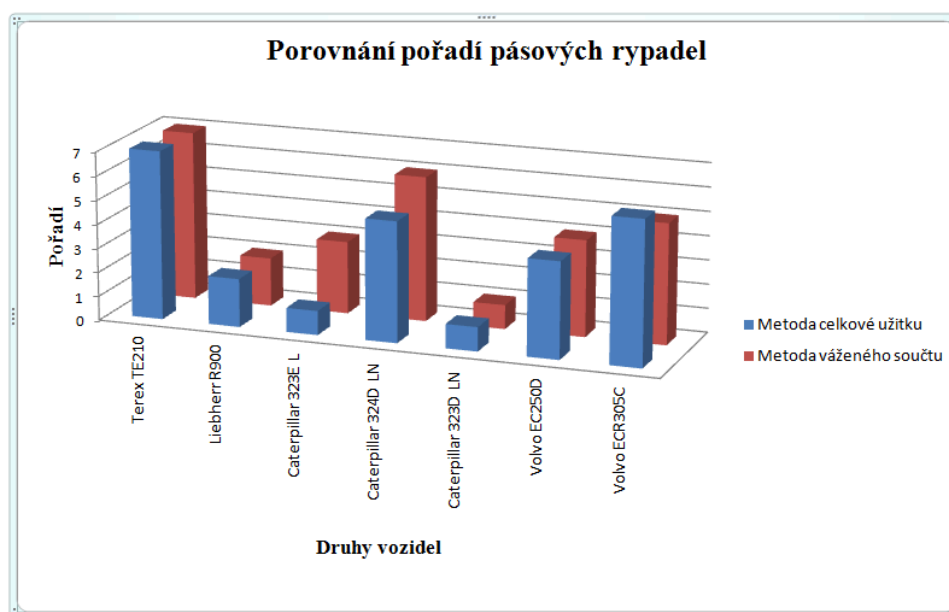
	Pořadí pásových rypadel							Výsledné pořadí
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	
<i>Terex TE210</i>	0	0	0	1	0	3	7	7
<i>Liebherr R900</i>	2	6	3	0	0	0	0	2
<i>Caterpillar 323E L</i>	4	1	4	2	0	0	0	3
<i>Caterpillar 324D LN</i>	0	1	0	3	2	5	0	6
<i>Caterpillar 323D LN</i>	5	3	2	0	0	1	0	1
<i>Volvo EC250D</i>	0	0	1	4	3	1	2	4
<i>Volvo ECR305C</i>	0	0	1	1	6	1	2	5

Po porovnání dosažených výsledků ve dvou předchozích tabulkách, lze opět konstatovat, že výsledné pořadí pásových rypadel je téměř stejné. Především, tak jako v **tabulce 26**, kde se na první příčce společně umístila pásová rypadla Caterpillar 323E L a Caterpillar 323D LN, se v **tabulce 27** na první příčce opět umístilo pásové rypadlo *Caterpillar 323D LN*, znázorněno na **obr. č. 11**. Z toho vyplývá, že vozidlo, které za pomoci multikriteriálních metod bylo 2x vybráno jako první v pořadí, je nejvhodnější řešení pro investici tohoto typu stroje.



Obr. č. 11 Caterpillar 323D LN

**Graf č. 2** představuje porovnání výsledného pořadí pásových rýpadel oběma metodami. Již na první pohled je zřejmé, že po aplikaci obou metod výsledné pořadí vozidel mezi sebou téměř koresponduje, v některých případech se liší o jednu, maximálně dvě příčky.



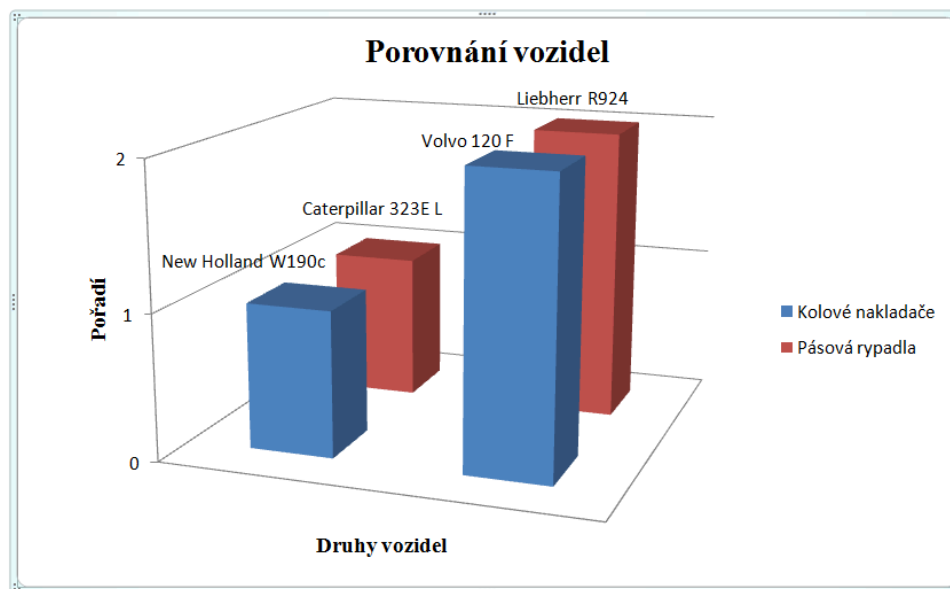
Graf č.2 Porovnání výběru pásových rýpadel

### 5.3. Porovnání vybraných vozidel s vozidly předurčených pro stavbu Sudoměřického tunelu

V předchozích kapitolách byl proveden výběr kolového nakladače a pásového

rypadla dle multikriteriálních metod. V obou případech se vybíralo ze sedmi možných vozidel. Tento výběr byl stanoven na základě konzultace s technikem mechanizace společnosti OHL ŽS, a.s., kdy bylo určeno, která vozidla je možno do multikriteriální analýzy zahrnout. Jako prioritně byla vybrána vozidla od takových prodejců, s kterými má společnost již dlouholeté zkušenosti. Navíc jako dlouholetý zákazník u těchto společností, které se zabývají prodejem stavebních strojů, má společnost OHL ŽS, a.s. jisté výhody týkající se pořizovací ceny při koupi nového vozidla.

Jak již bylo zmíněno na úvodu této kapitoly, tato část práce je zaměřena na porovnání vybraných vozidel tj. kolového nakladače *New Holland w190c* a pásového rypadla *Caterpillar 323D LN* s vozidly kolový nakladač *Volvo 120 F* a pásové rypadlo *Liebherr R924*. Opět je vycházeno z dotazníků, které vyplnili zaměstnanci společnosti OHL ŽS, a.s., které jsou obsaženy v **příloze 5**. Pro analýzu byla použita pouze metoda celkového užitku. Aplikace další metody neměla smysl z důvodu, že se v podstatě porovnávají pouze dvě vozidla se dvěma. Jelikož multikriteriální metoda celkového užitku v této práci, již byla aplikována 2x v předchozích kapitolách, kde jsou uvedeny i vzorové výpočty, **graf č. 3** představuje pouze konečné vyhodnocení srovnání vozidel. Kompletní výpočty jsou obsaženy v **příloze 6**.



Graf č.3 Porovnání vozidel

Z výše uvedeného grafu je zřejmé, že bezkonkurenčně se na prvních pozicích umístila vozidla, která byla za pomoci multikriteriálních metod vybrána. V případě kolových nakladačů, to byl *New Holland w190c*, který se z 11 ti případů umístil na první příčce devět krát. Sice disponuje nižším výkonem, než druhé vozidlo, ale jeho celková

délka je více, jak o jeden metr menší, což v místech s omezeným prostorem je velkým přínosem. Dále pořizovací cena je podstatně nižší a v neposlední řadě disponuje i nižší průměrnou spotřebou.

U pásových rypadel již bylo na první pohled zřejmé, že velkou roli zde bude hrát průměrná spotřeba a především pořizovací cena, která je u vozidla *Liebherr R924* příliš vysoká. Dále smluvený servis je v Žilině, což není zrovna optimální, když vozidlo bude pracovat v Jižních Čechách. Proto s ohledem na výslednou analýzu padne volba na konkurenta, teda na rypadlo *Caterpillar 323 E L*.



## 6. Závěr

Účelem diplomové práce bylo aplikovat multikriteriální metody na výběr kolového nakladače a pásového rypadla pro společnost OHL ŽS, a.s. Jelikož se výhledově plánují další stavby, uvažuje se o koupi další mechanizace na divizi v Brně. Dalším požadavkem bylo provést srovnání nově vybraných vozidel s vozidly, která již byla určena pro stavbu Sudoměřického tunelu, který je situován na Tábořsku v Jižních Čechách.

První fáze řešení práce spočívala v sestavení dotazníků, kde byla uvedena nejdůležitější kritéria, na která se hledí při výběru každé mechanizace toho typu. Dále se vybrala vozidla, od každého druhu se jednalo o sedm kandidátů. Následně tyto dotazníky byly předány zaměstnancům společnosti OHL ŽS, a.s., kteří jednotlivá kritéria obodovali v rozmezí 1 – 10 bodů. Po té stanovili váhy pro jednotlivá kritéria. Následně byly k dispozici všechna potřebná data pro aplikaci multikriteriálních metod. Pro výpočty byly použity dvě metody, tj. metoda celkového užitku a metoda váženého součtu. Obě metody byly aplikovány záměrně, jelikož by se mělo vždy dojít ke stejným, případně podobným výsledkům. V případě, že by nastala chyba v řešení v jedné metodě, výsledky by se neshodovaly. Druhý účel aplikace dvou metod je takový, že v případě, kdy se na první příčce umístí více než jeden z možných kandidátů, druhá metoda rozhodne o konečném výsledku. Ze získaných výpočtů byla sestavena tabulka, kde se sledovaly četnosti, kolikrát konkrétní typ vozidla byl stanoven pro určitá pořadí. V poslední fázi bylo vybráno vozidlo, které mělo nevyšší počet vyhodnocení pro první v pořadí. Tímto vozidlem se stal kolový nakladač *New Holland w190c* a pásové rypadlo *Caterpillar 323D LN*.

Součástí diplomové práce je také srovnání vybraných vozidel dle multikriteriální analýzy s vozidly, která jsou určena pro stavbu Sudoměřického tunelu. Na základě výpočtů bylo potvrzeno, že nově vybrané rypadlo v porovnání se stávajícím, vykazovalo v několika kritériích podstatně lepších výsledků. Rovněž byla aplikována multikriteriální analýza a výsledek přinesl rozhodnutí pro pásové rypadlo *Caterpillar 323D LN*. U kolových nakladačů po aplikaci multikriteriální analýzy bylo zřejmé, že na základě daného výsledku, je nově vybrané vozidlo *New Holland w190c*, tou nejlepší možnou variantou pro investici.

## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] Partika, M., *Technické zabezpečení a řízení provozu tunelem* Brno: 2011
- [2] Strouhal, M. OHL ŽS, a.s.
- [3] *Metrostav*. [online], [cit. 1. 1.2013]. Razicí štít. Dostupné z WWW:  
< [http://www.metrostav.cz/cz/technologie\\_tbm/prodlouzeni\\_trasy](http://www.metrostav.cz/cz/technologie_tbm/prodlouzeni_trasy) >
- [4] *Phoenix-Zeppelin CAT*. [online], [cit. 2. 2.2013]. Katalog pracovních strojů. Dostupné z WWW: <<http://www.p-z.cz/online-katalog/stavebni-stroje-caterpillar/nakladace>>
- [5] *Inteligentní budovy*. [online], [cit. 3. 3.2013]. Multikriteriální analýza. Dostupné z WWW:  
<<http://elektro.tzb-info.cz/inteligentni-budovy/7651-vyuziti-multikriterialni-analyzy-mca-pro-hodnoceni-inteligentnich-elektroinstalaci>>
- [6] *Teoretické základy vícekritériálního rozhodování*. [online], [cit. 9. 3.2013]. Multikriteriální vyhrnovací metody. Dostupné z WWW: <[http://korviny.cz/mca7/soubory/teorie\\_mca.pdf](http://korviny.cz/mca7/soubory/teorie_mca.pdf)>
- [7] Olivková, I. *Metodika uplatnění výsledků výzkumu*.
- [8] FOTR J., PÍŠEK M. *Exaktní metody ekonomického rozhodování*. Praha: ACADEMIA Praha, 1986.
- [9] Surovec, P. *Provoz a ekonomika silniční dopravy II.*, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004, ISBN 80-248-0710-6

### **Poděkování**

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucí své diplomové práce doc. Ing. Olivkové Ivaně, Ph.D. Dále Ing. Michalovi Strouhalovi za poskytnutí komplexních informací potřebných pro vypracování této práce. Rovněž poděkování patří všem, kteří mi byli nápomocní při zpracování mé práce.

# Přílohy

## Seznam příloh

- Příloha č. 1:** Dotazníky k hodnocení vozidel
- Příloha č. 2:** Stanovení vah kritérií
- Příloha č. 3:** Výpočty celkových užitek variant pro kolové nakladače a pásová rypadla dle metody váženého součtu
- Příloha č. 4:** Výpočty celkových užitek variant pro kolové nakladače a pásová rypadla dle metody celkového užitku
- Příloha č. 5:** Dotazníky k hodnocení vozidel
- Příloha č. 6:** Porovnání nově vybraných vozidel s vozidly předurčených pro stavbu dle metody celkového užitku